



**Álvaro Miguel Nunes
Ferreira**

**Conceção de plataforma de mobilidade individual de
locomoção manual**



**Álvaro Miguel Nunes
Ferreira**

**Conceção de plataforma de mobilidade individual de
locomoção manual**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor António Manuel Godinho Completo, professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e do Professor Doutor Carlos Alberto Moura Relvas, professor auxiliar do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Aos meus pais.

Aos meus irmãos.

À avó Dulce.

Ao avô Óscar.

O júri

Presidente	Professor Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro
Arguente	Professor Doutor José Luís Soares Esteves Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Orientador	Professor Doutor António Manuel Godinho Completo Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro
Co-orientador	Professor Doutor Carlos Alberto Moura Relvas Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Ao Professor Doutor António Completo e ao Professor Doutor Carlos Relvas, quero agradecer por todo o conhecimento transmitido, pela disponibilidade e orientação que me facultaram e por todo o apoio e dedicação que demonstraram ao longo deste trabalho.

A toda a equipa técnica do clube de remo "Os Galitos", treinadores e atletas, agradeço por toda a disponibilidade e colaboração no âmbito deste projeto.

Ao Eugénio Vieira agradeço a preciosa colaboração neste projeto e pelo apoio nas horas mais complicadas.

A todos os que de forma direta ou indireta contribuíram para que fosse possível finalizar este trabalho, o meu muito obrigado.

A todos aqueles que me acompanharam neste percurso académico, nos bons e maus momentos, agradeço pela amizade e pelos momentos que recordarei para toda a vida.

Palavras-chave

Desenvolvimento de Produto, Mobilidade Urbana, Conceção de Plataformas de Mobilidade, Veículos de Locomoção Manual, Veículos Adaptados, Remo

Resumo

O desenvolvimento de uma plataforma de mobilidade individual de locomoção manual teve como objetivo criar um novo conceito de produto que fosse diferenciador relativamente aos produtos de mobilidade individual mais comuns, tal como a bicicleta, mas ao mesmo tempo essa diferenciação assentar num acréscimo de funções disponíveis para utilizador e simultaneamente poder abranger uma gama mais vasta de utilizadores que estariam excluídos da utilização dos meios de mobilidade mais comuns. Neste ponto o desafio do presente trabalho foi conceber uma plataforma que pudesse ser utilizada em atividades de lazer, recondicionamento físico, por jovens desportistas e por utilizadores com limitações funcionais ao nível dos membros inferiores e mesmo problemas de equilíbrio, situações associadas a utilizadores com idade avançada. Tendo em consideração o enquadramento descrito, o modo de propulsão selecionado para a plataforma foi com recurso aos movimentos dos membros superiores do utilizador. Com base numa análise de *benchmarking* às soluções existentes de locomoção associadas aos membros superiores, e também aos aspetos biomecânicos associados a cada uma destas, foi selecionado o princípio do movimento da remada, associado à prática do remo, para modo de propulsão da plataforma. A partir deste ponto aplicou-se um referencial de projeto e engenharia de produto que passou pela aplicação de um conjunto de ferramentas que tentaram sistematizar e hierarquizar a informação necessária à conceção e projeto da plataforma tais como: identificação das necessidades dos clientes, seleção e valores alvo das especificações técnicas da plataforma e estabelecimento da sua relação através da casa da qualidade (QFD) com as necessidades do cliente, geração e seleção de conceitos para as diferentes funções da plataforma, teste do conceito com modelos virtuais, definição de arquitetura e modularidade, estabelecimento do *design* industrial, estimativa de custo e quantidade vendida, utilização das ferramentas de *design* robusto como a análise do modo de falha e efeito cliente (AMFE) e plano de experiências (DOE). Numa fase posterior procedeu-se à modelação geométrica da plataforma com recurso a sistemas CAD e verificação do seu dimensionamento com ferramentas de análise estrutural (CAE), com base no método de elementos finitos e também com procedimentos analíticos. Finalmente procedeu-se à elaboração dos desenhos de definição para cada componente com a aplicação da cotação funcional e listagem dos componentes. Em complemento procedeu-se à construção de uma maquete à escala para apresentação e promoção do conceito da plataforma.

Keywords

Product Development, Urban Mobility, Conception of Mobility Platforms, Vehicular Locomotion by Manual Control, Adapted Vehicles, Rowing

Abstract

The purpose of developing an individual mobility platform with locomotion by manual control was to create a new product concept different from the more conventional ones, as the bicycle. However, at the same time, the differentiation of this product includes increasing the available functions to the user and it also enlarges the range of users, enabling the inclusion of those who would otherwise not be able to use regular mobility devices. At this point, the challenge of this study was to develop a platform that could be used in leisure and physical rehabilitation activities, either by young sportsmen/women or impaired users with functional limitations regarding their inferior limbs and body balance, difficulties felt by people of advanced age. Considering all this aspects, the selected propulsion method is based in the movement of the users' superior limbs. After a benchmarking analysis of the existing locomotion solutions associated with superior limbs movement, and bearing in mind the involved biomechanical aspects, it was determined that the propulsion of the platform would be powered by rowing movements. Taking this into account, it was applied a referential project and product engineering, which included the use of a set of tools that allows the collection and organization of all the information required to design and develop the platform, such as: identification of client needs, selection of target values related to the technical specifications of the platform and determination of their relation, through Quality Function Deployment (QFD), with customer needs, concept creation and selection for the different platform functions, concept testing with virtual models, architectural and modular definition, industrial design development, cost calculation, sales expectations, robust design tools - failure mode and effects analysis (FMEA) and design of experiments (DOE). At a later stage, the platform geometric modeling using CAD tools and the verification of its dimensioning with structural analysis tools (CAE) were executed, based on the finite element method and also with analytical procedures. Finally, the preparation of definition drawings for each component was carried out with the application of functional dimensioning and listing of components. In addition, a scale model was built to represent and promote the platform concept.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 A MOBILIDADE INDIVIDUAL	5
2.1 Enquadramento da Problemática da Mobilidade Individual	5
2.1.1 Impacte ambiental	6
2.1.2 Impacte na saúde pública.....	6
2.1.3 Impacte na economia.....	7
2.2 Soluções de Mobilidade Individual	8
2.2.1 Plataformas acionadas pelos membros inferiores	10
2.2.2 Plataformas acionadas pelos membros superiores.....	15
2.2.1 Máquinas de remo	24
2.2.2 Concepts.....	27
3 ANÁLISE BIOMECÂNICA.....	29
3.1 Biomecânica no Remo	29
3.2 Biomecânica no Ciclismo.....	36
3.3 Biomecânica na Propulsão de Cadeira de rodas	41
3.4 Análise Comparativa	45
3.5 Dados Antropométricos.....	46
4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA.....	49
4.1 Identificação das Necessidades do Cliente	49
4.1.1 Recolha de informações	49
4.1.2 Interpretação dos dados	50
4.1.3 Hierarquização das necessidades do cliente	52
4.1.4 Análise de Kano	55
4.2 Especificações Técnicas da Plataforma	56
4.3 Casa da Qualidade – Matriz QFD	57
4.4 Geração, Seleção e Teste de Conceitos	66
4.4.1 Decomposição de funções.....	66
4.4.2 Árvore de classificação de conceitos.....	67
4.4.3 Patentes.....	68

4.4.4	Conceito I.....	69
4.4.5	Conceito II.....	70
4.4.6	Conceito III.....	71
4.4.7	Modo de locomoção	72
4.4.8	Arrumação/transporte	74
4.4.9	Soluções para funções.....	75
4.4.10	Combinação de conceitos	79
4.4.11	Seleção de conceitos	80
4.4.12	Teste de conceitos.....	86
4.4.13	Estimativa de vendas.....	87
4.5	Arquitetura da Plataforma	88
4.5.1	Módulos.....	89
4.5.2	Plano de diferenciação	90
4.6	<i>Design</i> Industrial	92
4.7	<i>Design</i> para Fabrico	99
4.8	Protótipos	105
4.8.1	Protótipos virtuais	105
4.8.2	Protótipo físico	107
4.8.3	Análise funcional	111
4.8.4	Versão final.....	117
4.9	<i>Design</i> Robusto	118
4.9.1	Plano de experiências - DOE.....	118
4.9.2	Análise de modo de falha e efeito - AMFE	121
5	PROJETO MECÂNICO.....	125
5.1	Análise Estrutural.....	125
5.1.1	Materiais e métodos	125
5.1.2	Resultados e discussão	128
5.2	Dimensionamento de engrenagens.....	132
5.3	Dimensionamento de ligações aparafusadas	140
5.4	Desenho Técnico.....	147
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	149
7	REFERÊNCIAS.....	153
	ANEXO I.....	159
	ANEXO II.....	165
	ANEXO III.....	169
	ANEXO IV	Erro! Marcador não definido.
	ANEXO V	Erro! Marcador não definido.

ANEXO VI Erro! Marcador não definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos Coluer	10
Figura 2 - Modelo Di Blasi Mod R32	10
Figura 3 - Modelo Órbita Carga	11
Figura 4 - Modelo Qüer Triciclo.....	11
Figura 5 - Modelos Azub	12
Figura 6 - Modelos Greenspeed	13
Figura 7 - Modelos HP Velotechnik	14
Figura 8 - Modelos Mobo	15
Figura 9 - Modelos Top End.....	16
Figura 10 - Modelo Triciclo de tração manual Aveimédica	17
Figura 11 - Modelo Hase Handbike	17
Figura 12 - Modelos Top End Handcycle	18
Figura 13 - Modelo Sport-On Explorer	19
Figura 14 - Modelos Armbike	20
Figura 15 - Modelo Champiot Ultra.....	20
Figura 16 - Modelo Mountain Trike.....	21
Figura 17 - Modelos Rota Mobility	22
Figura 18 - Modelos Rowbike	22
Figura 19 - Modelos Rowingbike e Rowingtrike	23
Figura 20 - Modelos BH Fitness	24
Figura 21 - Modelos Concept2.....	25
Figura 22 - Modelos Kettler	26
Figura 23 - Modelos Oartec	27
Figura 24 - Conceitos de veículos a remo	28
Figura 25 - Remo - fase de ataque.....	31
Figura 26 - Remo - fase motora - ação das pernas	31
Figura 27 - Remo - fase motora - balanço	32
Figura 28 - Remo - fase motora - ação dos braços	32
Figura 29 - Remo - fase final	33
Figura 30 - Remo - fase de recuperação	33
Figura 31 - Remo - amplitudes angulares	34

Figura 32 - Remo - forças envolvidas.....	35
Figura 33 - Remo - forças no ergómetro.....	36
Figura 34 - Ciclismo - músculos	37
Figura 35 - Ciclismo - fases	37
Figura 36 - Ciclismo - amplitudes angulares	39
Figura 37 - Ciclismo - forças envolvidas.....	40
Figura 38 - Ciclismo - forças no pedal.....	40
Figura 39 - Propulsão de cadeira de rodas - fases.....	42
Figura 40 - Propulsão de cadeira de rodas - amplitudes angulares.....	43
Figura 41 - Propulsão de cadeira de rodas - forças envolvidas	44
Figura 42 - Movimento dos braços em posição sentada.....	46
Figura 43 - Dados antropométricos	47
Figura 44 - Estatística das necessidades de cliente	51
Figura 45 - Diagrama de Mudge	53
Figura 46 - Hierarquização de requisitos de cliente	54
Figura 47 - Diagrama Kano	56
Figura 48 - Matriz relações requisitos de cliente/requisitos do produto	58
Figura 49 - Análise competitiva e argumentos de venda	59
Figura 50 - Quantificação dos requisitos do projeto	60
Figura 51 - Matriz de correlações	61
Figura 52 - Gráfico do peso relativo dos requisitos de cliente	63
Figura 53 - Gráfico da importância percentual dos requisitos do produto	64
Figura 54 - Diagrama de funções.....	66
Figura 55 - Árvore de classificação de conceitos	67
Figura 56 - Patentes	68
Figura 57 - Conceito I.....	70
Figura 58 - Conceito II.....	71
Figura 59 - Conceito III.....	72
Figura 60 - Modos de locomoção	73
Figura 61 - Conceitos de arrumação/transporte	75
Figura 62 - Soluções de tração e transmissão	76
Figura 63 - Soluções de direção.....	77
Figura 64 - Soluções de fixação do banco.....	78
Figura 65 - Solução de dobragem	78
Figura 66 - Soluções de posto de utilizador.....	79
Figura 67 - Soluções de suspensão.....	79
Figura 68 - Combinação de conceitos.....	80

Figura 69 - Conceitos de remos	86
Figura 70 - Arquitetura do produto	90
Figura 71 - Medidas do posto do utilizador	93
Figura 72 - Primeiro protótipo visual	94
Figura 73 - Simulação do movimento na plataforma	95
Figura 74 - Dispositivo de mobilidade urbana	96
Figura 75 - Dispositivo adaptado a paraplégicos	97
Figura 76 - Dispositivo exclusivo para competição.....	98
Figura 77 - Componentes standardizados	100
Figura 78 - Perfis para o chassis.....	102
Figura 79 - Perfil para a caixa de engrenagens	102
Figura 80 - Perfil para os remos.....	102
Figura 81 - Protótipos virtuais	107
Figura 82 - Materiais para construção do protótipo físico	108
Figura 83 - Fotografias do protótipo físico	110
Figura 84 - Sistema de tração	111
Figura 85 - Regulador de força	112
Figura 86 - Direção controlada por rotação do pé	113
Figura 87 - Fixação do banco	114
Figura 88 - Configuração da plataforma em arrumação e transporte.....	116
Figura 89 - Dimensões em configuração de transporte	116
Figura 90 - Esquema DOE	119
Figura 91 - Geometria da plataforma para análise	126
Figura 92 - Condições de carga da simulação	127
Figura 93 - Elemento finito tetraédrico de 10 nós.....	127
Figura 94 - Malha de elementos finitos e condições de carga	128
Figura 95 - Deslocamento dos nós.....	129
Figura 96 - Simulação numérica da estrutura.....	130
Figura 97 - Concentração de tensões	131
Figura 98 - Tensões na junta dobrável.....	131
Figura 99 - Esquema das engrenagens	132
Figura 100 - Diagrama de forças.....	140
Figura 101 - Juntas de sobreposição simples	141
Figura 102 - Posicionamento dos parafusos.....	141
Figura 103 - Distância entre o centroide e o ponto de aplicação da força	143
Figura 104 - Decomposição de forças nos parafusos	144
Figura 105 - Vetores das forças de corte	145

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Impactes Ambientais	6
Tabela 2 - Impactes na saúde pública.....	7
Tabela 3 - Marcas analisadas	9
Tabela 4 - Remo - amplitudes angulares	34
Tabela 5 - Ciclismo - amplitudes angulares	39
Tabela 6 - Propulsão de cadeira de rodas - amplitudes angulares	43
Tabela 7 - Força desenvolvida pelos membros superiores em posição sentada para o percentil 5	46
Tabela 8 - Dados antropométricos	48
Tabela 9 - Necessidades do cliente.....	50
Tabela 10 - Requisito e respetiva designação.....	52
Tabela 11 - Grau de importância de requisitos	55
Tabela 12 - Especificações do produto	57
Tabela 13 - Valores alvo das especificações	62
Tabela 14 - Matriz seleção de conceitos de plataforma.....	81
Tabela 15 - Matriz seleção de conceitos de posição do banco.....	81
Tabela 16 - Matriz seleção de conceitos de configuração do banco	82
Tabela 17 - Matriz seleção de conceitos de velocidades.....	82
Tabela 18 - Matriz seleção de conceitos de eixo traseiro.....	83
Tabela 19 - Matriz seleção de conceitos de sistema de direção	83
Tabela 20 - Matriz seleção de conceitos de sistema de travagem	84
Tabela 21 - Matriz seleção de conceitos de seletor de velocidades.....	84
Tabela 22 - Matriz seleção de conceitos de arrumação/transporte.....	85
Tabela 23 - Matriz seleção de conceitos de remos	85
Tabela 24 - Componentes estandardizados	101
Tabela 25 - Tempos de montagem estimados.....	103
Tabela 26 - Custo total de produção	104
Tabela 27 - Valores finais das especificações	117
Tabela 28 - Fatores DOE	119
Tabela 29 - Plano de experiências	120
Tabela 30 - Avaliação do desempenho.....	120
Tabela 31 - AMFE componentes.....	121
Tabela 32 - AMFE utilização.....	122

Tabela 33 - AMFE resposta aos requisitos de cliente	123
Tabela 34 - Propriedades mecânicas do alumínio 6061 T6	126
Tabela 35 - Valores de K_A , de acordo com o tipo de choque do engrenamento a dimensionar	133
Tabela 36 - Valores de m e N_r em função do tipo de engrenagem escolhido	134
Tabela 37 - Valor do fator geométrico em função da inclinação do dentado escolhido.....	135
Tabela 38 - Valores dos coeficientes C_3 e C_4	135
Tabela 39 - Valores da tensão de ruína à fadiga superficial	136
Tabela 40 - Cálculo do número de dentes, módulo, diâmetro e largura da roda dentada	137
Tabela 41 - Valores com módulo normalizado	137
Tabela 42 - Coeficientes c_i para o cálculo de c_3	138
Tabela 43 - Coeficientes e_0 para o cálculo de e_1	138
Tabela 44 - Sub fatores para o cálculo de c_4	139
Tabela 45 - Passo (mm) e área resistente (mm^2) da rosca de passo normal.....	146

1 INTRODUÇÃO

O trabalho desenvolvido no âmbito desta tese de dissertação visou o desenvolvimento, conceção e projeto detalhado de uma plataforma de mobilidade individual. Esta solução procurou satisfazer o aspeto da mobilidade individual aplicada essencialmente à prática de atividades de lazer, recondicionamento físico, desporto e ainda uma aplicação específica para utilizadores com limitações funcionais ou mesmo incapacidade de mobilidade dos membros inferiores ou problemas de equilíbrio. A resposta a estas formas de utilização da plataforma de mobilidade individual conduz a elevada abrangência dos potenciais utilizadores, desde jovens desportistas a pessoas com idade mais avançada e com limitações de mobilidade. Por forma a responder a um aspeto bem atual, que se relaciona com a sustentabilidade ambiental, foi delineado já na proposta de trabalho que esta plataforma seria exclusivamente de locomoção manual. Tornou-se assim evidente que a associação do fato de esta plataforma poder ser utilizada por indivíduos com limitações funcionais ao nível dos membros inferiores, e de a sua locomoção ser assegurada de uma forma totalmente manual, esta teria como fonte de locomoção os movimentos associados aos membros superiores. Com base numa análise de *benchmarking* às soluções existentes de locomoção associadas aos membros superiores, e também nos aspetos biomecânicos associados a cada uma destas, foi selecionado o princípio do movimento da remada, associado à prática do remo, para modo de propulsão da plataforma de mobilidade, permitindo desta forma a resposta aos objetivos de utilização definidos inicialmente. A partir deste ponto procedeu-se à aplicação de um referencial de projeto e engenharia de produto tecnológico. Este referencial traduziu-se num conjunto de etapas desde a identificação das necessidades dos clientes, passando pela seleção e valores alvo das especificações técnicas da plataforma e estabelecimento da sua relação com as necessidades cliente através da casa da qualidade (QFD), geração e seleção de conceitos para a plataforma, teste do conceito com modelos virtuais, definição de arquitetura e modularidade, estabelecimento do *design* industrial, modelação e projeto mecânico na perspetiva do desenho para fabricação (DFM) da plataforma, elaboração do *dossier* técnico com os desenhos de definição e listagem de peças e finalmente a realização de um protótipo de aspeto à escala.

Esta dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos, sendo o presente capítulo (capítulo 1), relativo à introdução e os restantes capítulos organizados do seguinte modo:

No capítulo 2, é feito o enquadramento do projeto no âmbito da problemática da mobilidade individual urbana na sociedade atual, tendo sido levantados dados qualitativos e quantitativos relativamente aos efeitos que o setor dos transportes provoca no domínio ambiental, económico e de saúde pública; é também realizado o estudo das soluções de mobilidade urbana sustentável presentes no mercado.

No capítulo 3, procedeu-se a uma análise da biomecânica de algumas atividades físicas tais como: o remo, ciclismo e propulsão de cadeira de rodas. Foi feita uma análise comparativa das solicitações dos membros superiores e inferiores em cada atividade, em termos de músculos solicitados, amplitudes angulares dos segmentos anatómicos durante a atividade, forças e binários resultantes do movimento, de modo a avaliar a viabilidade da proposta de plataforma de mobilidade. Procedeu-se também ao levantamento dos dados antropométricos da população portuguesa para a correta modelação do dispositivo.

No capítulo 4, procedeu-se à aplicação de todo o processo de projeto e engenharia da plataforma, correspondendo este capítulo ao trabalho principal desta tese. Neste capítulo procedeu-se à identificação, interpretação, hierarquização e avaliação das necessidades dos potenciais clientes; seguidamente foram definidas as especificações técnicas para a plataforma, que foram combinadas com os requisitos de cliente na matriz da casa da qualidade; neste capítulo foram também desenvolvidos modelos técnicos para as diferentes funções da plataforma; após clarificação das funções da plataforma, a fase conceitual do projeto inclui a geração, seleção e teste de conceitos do dispositivo; seguidamente definiu-se a arquitetura do produto, juntamente com o plano de diferenciação do produto e *design* industrial; após modelação 3D do dispositivo, foram criados protótipos virtuais e um protótipo à escala 1:6, recorrendo a materiais de uso comum; no âmbito de *design* robusto foram definidos planos de experiências (DOE) e análise de modos de falha e efeito no cliente (FMEA).

No capítulo 5, procedeu-se ao trabalho de projeto detalhado da plataforma com os desenhos de conjunto, montagem e definição, assim como ao dimensionamento estrutural de alguns elementos da plataforma com recurso a *software* de elementos finitos e cálculo analítico.

Foi verificado o dimensionamento da estrutura principal da plataforma e também verificado o dimensionamento das engrenagens e ligações aparafusadas da caixa de inversão.

No capítulo 6, estabelecem-se as principais conclusões do trabalho realizado, assim como a possibilidade de trabalhos complementares a desenvolver no futuro.

2 A MOBILIDADE INDIVIDUAL

2.1 ENQUADRAMENTO DA PROBLEMÁTICA DA MOBILIDADE INDIVIDUAL

O setor dos transportes tem um papel essencial na qualidade de vida dos cidadãos, pelas possibilidades de mobilidade oferecidas, além da sua importância para a atividade económica. Um sistema de transportes deve ser eficiente, eficaz e flexível mas ao mesmo tempo deverá respeitar os princípios do desenvolvimento sustentável, ou seja, a procura do bem-estar social e não apenas do bem-estar material. As pessoas desejam uma mobilidade cómoda e acessível quando se deslocam para os locais de trabalho, para os estabelecimentos de ensino ou para as suas atividades de lazer, exigindo dos decisores políticos mais e melhores infraestruturas, nomeadamente rodoviárias.

Encontrar um equilíbrio entre estas duas componentes, aparentemente opostas, dum sistema de transportes sustentável parece difícil, mas não deixa de ser inevitável dados os elevados custos ambientais e sociais suportados pela sociedade, ou seja, cada um de nós.

É visível que o rápido desenvolvimento urbano a nível mundial conduziu ao aumento de movimentação de passageiros e mercadorias nas áreas urbanas. Relativamente à mobilidade individual, foi na década de 30 do século XX que se iniciou a era do automóvel que se prolonga até aos dias de hoje. O automóvel veio alterar os padrões de desenvolvimento do território, contribuir para o aumento dos níveis de poluição e também para uma das principais preocupações a nível mundial: a extinção de combustíveis fósseis.

Dado o estado da atual sociedade mundial, a questão da mobilidade urbana tem sido cada vez mais abordada em análises a nível de impacto ambiental, na saúde pública e na economia. Alguns aspetos importantes relativos a esta problemática serão referenciados seguidamente, a nível qualitativo, quantitativo e estatístico.

2.1.1 IMPACTE AMBIENTAL

Os atuais problemas ambientais, principalmente o aquecimento global, despertaram na sociedade e organizações modernas uma nova consciência no que toca às práticas quotidianas ligadas ao consumo e emissão de gases causadores de efeito de estufa. De acordo com dados provenientes da Agência Europeia do Ambiente, 2011, o setor dos transportes foi responsável por 24% de todas as emissões destes gases da união europeia em 2009. O roteiro publicado pela Comissão Europeia indica que os Estados-Membros da UE são obrigados a reduzir os gases causadores de efeito de estufa provenientes dos transportes em 60% até 2050 comparativamente aos níveis de 1990. Tendo em conta que, na verdade, as emissões aumentaram 27% entre 1990 e 2009, a UE tem de efetuar uma redução global de 68% entre 2009 e 2050.

Por outro lado, as estradas, os caminhos-de-ferro e as autoestradas estão a dividir a paisagem europeia em parcelas cada vez mais pequenas, com sérias consequências para a biodiversidade. Quase 30% do território da UE está moderada, significativa ou extremamente fragmentado, limitando a circulação e a alimentação de muitas espécies diferentes.

Na Tabela 1 são enumerados os diferentes impactes ambientais provocados pelos transportes, e respetivos agentes nocivos referidos por Tavares, 2005.

Tabela 1 - Impactes Ambientais

Nível	Impacte Ambiental
Local	Poluição atmosférica, especialmente nas áreas urbanas: CO, HC, NO _x , Partículas, Ruído
Regional	Chuvas ácidas: NO _x e SO ₂ Nevoeiro fotoquímico: HC não metânicos e NO _x
Global	Efeito de estufa: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O e O ₃

2.1.2 IMPACTE NA SAÚDE PÚBLICA

O elevado número de automóveis em circulação provoca grandes distúrbios no dia-a-dia dos cidadãos. Um deles é o denominado *stress* ambiental urbano, provocado pelo tráfego automóvel, o que gera tensão e frustração nos condutores, bem como o nível de ruído e poluição provocado pelo automóvel.

O ruído (poluição sonora) surte efeitos fisiológicos, psicológicos e patogénicos (doenças) na saúde dos indivíduos. A poluição sonora interfere com o pensamento, dificulta a comunicação, baixa o desempenho no trabalho, altera o sono e é uma fonte de *stress*.

A poluição do ar é um fator de *stress* urbano pouco perceptível pelas pessoas, dado que só com uma grande concentração de poluentes se nota afetação da visibilidade, cheiros desagradáveis e irritações nos olhos.

O automóvel é das principais fontes de poluição dos transportes. Na Tabela 2 encontram-se os principais poluentes emitidos e os seus riscos para a saúde, segundo Tavares, 2005.

Tabela 2 - Impactes na saúde pública

Poluentes	Riscos para a saúde
Monóxido de Carbono (CO)	Tonturas, cefaleias, distúrbios visuais e auditivos, fadiga. Facilita a formação de placas de ateroma nas paredes arteriais
Óxidos de Azoto (NO _x)	Diminuição da função pulmonar, irritação dos alvéolos pulmonares, agravamento das doenças respiratórias crónicas.
Ozono (O ₃)	Irritações oculares e faríngeas, diminuição da função respiratória, potencialização dos efeitos dos alérgenos
Hidrocarbonetos (HC)	Potencialidade cancerígena
Chumbo (Pb)	Efeitos neurológicos, perturbações do comportamento na criança.
Partículas Diesel	Distúrbios respiratórios e oncogénese de partículas de pequeno tamanho

2.1.3 IMPACTE NA ECONOMIA

Segundo a Agência Europeia do Ambiente, 2011, o preço real médio dos combustíveis utilizados nos transportes rodoviários considerado equivalente ao preço da gasolina sem chumbo, incluindo taxas e encargos foi de 1,14 euros por litro em junho de 2011, sendo, em termos reais, 15% superior a 1980. Quer isto dizer que o preço da gasolina aumentou menos de 0,5 pontos percentuais por ano, em média, o que significa que os preços dos combustíveis não estão a transmitir sinais fortes que incentivem escolhas mais eficientes em matéria de transportes.

Estudos realizados pela EDP (Energias de Portugal), 2011, comprovam que as famílias portuguesas gastam mais energia no transporte individual do que no alojamento. Os dados estatísticos indicam que cada família portuguesa gasta, em média, cerca de 1.843 euros por ano com energia, sendo que 1.002 euros/ano são para o automóvel e os restantes 840 euros gastos para consumo na casa.

2.2 SOLUÇÕES DE MOBILIDADE INDIVIDUAL

O *benchmarking* é um dos mais úteis instrumentos de gestão para melhorar o desempenho das empresas e conquistar a superioridade em relação à concorrência. Baseia-se na aprendizagem das melhores experiências de empresas similares e ajuda a explicar todo o processo que envolve uma excelente *performance* empresarial. A essência desta ferramenta parte do princípio que nenhuma empresa é a melhor em tudo, o que implica reconhecer que existe no mercado quem faz melhor do que nós (Mardi Coers, 2001). Quando a aprendizagem resultante de um processo de *benchmarking* é aplicada de forma correta facilita a melhoria do desempenho em situações críticas no seio de uma empresa.

Neste projeto é efetuado o estudo sobre as diferentes plataformas de mobilidade individual disponíveis atualmente no mercado. Dada a particularidade do produto proposto a desenvolver, a nível de mercado é pouca a concorrência direta. Assim sendo, para além de plataformas que repliquem o movimento do remador para locomoção, serão também considerados como concorrência direta:

- Bicicletas e triciclos
 - Propulsão convencional
 - Propulsão manual
 - Postura convencional
 - Postura reclinada
- Cadeiras de rodas na vertente desportiva (o produto proposto poderá ser utilizado por deficientes motores)
- Máquinas de remo *indoor*















Após intensa análise de mercado foram selecionados os produtos mais importantes, quer a nível de plataformas movidas por força corporal, quer a nível máquinas de remo *indoor*. O objetivo desta ação é estudar as diferentes soluções já existentes no mercado em termos de *design*, tecnologia, materiais, peso, volume, modo de fabrico, entre outras características.

As páginas seguintes ilustram os produtos analisados, bem como as suas principais características. Em anexo seguem as tabelas com todos os dados técnicos obtidos para cada um dos produtos (ver Anexo I).

A Tabela 3 indica as marcas seleccionadas para cada segmento de produto:

Tabela 3 - Marcas analisadas

Triciclos para adulto (postura convencional)	Triciclos para adulto (postura reclinada)	Cadeiras de rodas (desportivas)
   	   	

Triciclos manuais	Máquinas de remo	Veículos a remos
   	   	     

2.2.1 PLATAFORMAS ACIONADAS PELOS MEMBROS INFERIORES

Os produtos que se seguem inserem-se na categoria de plataformas de mobilidade de propulsão convencional, através de acionamento de pedais através dos membros inferiores.

Coluer

A marca espanhola *Coluer*, 2012, monta as suas bicicletas em território português e é uma referência no mercado ibérico. Da vasta gama de produtos desta marca, foram selecionados os triciclos para adultos (ver Figura 1). Fabricados em alumínio 6061 T6 ou alumínio 7005 T6, com rodas de 20 polegadas, travões dianteiros *V-Brake* e traseiros de tambor, cassete de 6 velocidades.



Figura 1 - Modelos Coluer

[fonte: Coluer, 2012]

Di Blasi

O fabricante italiano de ciclomotores, bicicletas e triciclos dobráveis *Di Blasi*, 2012, produz, desde 1974, este tipo de plataformas com o objetivo de serem utilizadas como veículos auxiliares em conjunto com automóveis, transportes públicos e para atividades de lazer em geral. Do catálogo da marca, o modelo *Mod R32* (triciclo dobrável) é o mais significativo a nível comparativo com o produto proposto neste projeto. Possui quadro em aço carbono, rodas de 20 polegadas, travões *V-Brake* e cassete de 5 velocidades. A Figura 2 ilustra este modelo.



Figura 2 - Modelo Di Blasi Mod R32

[fonte: Di Blasi, 2012]

Órbita

A fundação da *Órbita*, 2012, marca sediada em Aveiro, data de 1971. A construtora portuguesa de bicicletas exporta cerca de 70% da sua produção graças à sua presença em mais de 15 mercados mundiais. O modelo *Órbita Carga*, representado na Figura 3, é um triciclo de adulto fabricado em aço carbono, rodas de 20 polegadas, travões *V-Brake* e cassete de 3 velocidades. Este modelo assume o aspeto típico de um triciclo para adulto utilizado para passeio e para pequenas deslocações, como ida às compras, graças aos cestos que possui acoplados ao quadro. Este é um modelo de baixo custo que apresenta sistemas básicos de funcionamento e materiais também de baixo custo.



Figura 3 - Modelo Órbita Carga
[fonte: Órbita, 2012]

Quer

A marca espanhola *Quer*, 2012, é também referência no mercado ibérico. O triciclo da *Quer* possui quadro em aço carbono, rodas de 20 polegadas, travões dianteiros *V-Brake* e traseiro de tambor (ver Figura 4). Esta plataforma segue a filosofia já descrita no modelo anteriormente referido, possuindo um cesto para transporte de pequenos objetos ou sacos de compras. A nível visual ambos os modelos são bastante semelhantes, sendo que este último apresenta um *design* mais atual do que o triciclo da *Órbita*.



Figura 4 - Modelo Quer Triciclo
[fonte: Quer, 2012]

Azub

Localizada na República Checa, a marca *Azub*, 2012, constrói bicicletas reclinadas para a europa há mais de 10 anos, sendo reconhecida pela alta qualidade dos seus produtos. Da análise da gama de produtos da marca, são selecionados dois modelos de triciclos reclinados dobráveis. Ambos os modelos são fabricados em alumínio, possuem rodas de 20 polegadas, travões de disco e cassete de velocidades. Ambos os modelos possuem direção controlada através de movimento de braços e são facilmente transportáveis na bagageira de um automóvel.

Os modelos *T-Tris* e *Tricon* são ilustrados na Figura 5.



T-Tris



Tricon

Figura 5 - Modelos Azub
[fonte: Azub, 2012]

Greenspeed

Este fabricante australiano comercializa este tipo de produto desde 1990. A *Greenspeed*, 2012, possui um vasto catálogo de triciclos reclinados, tendo sido selecionados os modelos *GT3* e *GTO*. Ambos são fabricados em CroMo 4130, possuem sistema de direção controlado manualmente por alavanca, travões de disco e 27 velocidades. O modelo *GT3* possui rodas de 16 polegadas e o modelo *GTO* possui rodas de 20 polegadas.

A Figura 6 ilustra ambas as plataformas em configuração de uso e transporte. O modelo *GT3* possui uma estrutura dobrável contrariamente ao modelo *GTO* que possui uma estrutura não dobrável, mas sim desmontável. Neste último, toda a estrutura é desmontada e acomodada em malas para transporte.



GT3



GTO

Figura 6 - Modelos Greenspeed
[fonte: Greenspeed, 2012]

HP Velotechnik

A *HP Velotechnik*, 2012, é uma empresa alemã especialista no fabrico de bicicletas e triciclos para uso diário ou passeio/lazer, em pequenas ou longas distâncias. Neste caso apenas foram alvo de estudo os modelos de triciclos reclinados dobráveis. Os modelos *Gekko FX* e *Scorpion FS* possuem quadro em alumínio 7005 T6, rodas de 20 polegadas, 24 velocidades, travões de disco e direção por alavanca.

O sistema de dobragem dos dois modelos é diferente. No primeiro a dobragem é feita rodando a parte traseira, segundo um eixo que forma 45° com o plano horizontal, de modo a ficar acomodada sob a parte frontal do dispositivo. Este pormenor permite que a roda traseira fique aproximadamente perpendicular às rodas dianteiras, ocupando menos espaço em arrumação. O modelo *Scorpion FS* dobra segundo outro princípio. Neste caso a parte traseira rodará, segundo um eixo horizontal, sobre a parte dianteira. Deste modo as três rodas permanecem paralelas entre si, na posição vertical. Ambos os modelos estão representados na Figura 7.



Gekko FX



Scorpion FS

Figura 7 - Modelos HP Velotechnik

[fonte: HP Velotechnik]

Mobo

O segmento de triciclos reclinados *Mobo Cruiser*, da *ASA Products*, apresenta um quadro ajustável que permite ao utilizador uma fácil e confortável condução. O sistema de pedais é acoplado na roda dianteira, sendo a mudança de direção controlada por alavancas. Os quadros dos vários modelos são fabricados em aço carbono, possuem travões *V-Brake*, e as rodas variam entre as 12 e 20 polegadas. A gama de produtos engloba triciclos para crianças e triciclos para adultos. Os quatro modelos analisados desta marca encontram-se ilustrados na Figura 8.



Figura 8 - Modelos Mobo
[fonte: Mobo, 2012]

2.2.2 PLATAFORMAS ACIONADAS PELOS MEMBROS SUPERIORES

Outros dispositivos analisados foram as plataformas desenvolvidas para indivíduos com deficiência motora ou incapacidade física nos membros inferiores. Deste modo o dispositivo é movido através de acionamento pelos membros superiores. Estes produtos podem também ser utilizados por indivíduos sem nenhum tipo de incapacidade física.

Invacare

A *Invacare*, 2012, é uma empresa americana dedicada à mobilidade de indivíduos incapacitados ou idosos com mobilidade reduzida. A gama de produtos desta marca vai desde produtos de higiene, a camas e poltronas, até variadas cadeiras de rodas. No setor das cadeiras de rodas desportivas são tomados como referência os modelos *Crossfire All Terrain* e *Eliminator OSR*, ilustrados na Figura 9. O primeiro modelo trata-se de uma cadeira de rodas desenhada para ambientes mais acidentados, tais como areais ou florestas, cuja estrutura é construída em alumínio 6061 T6, com rodas de todo-o-terreno de 25 polegadas. Possui ainda duas rodas de 8 polegadas na frente para garantir melhor tração e estabilidade. O modelo *Eliminator OSR* é também construído em alumínio 6061 T6, mas possui rodas de 26 polegadas atrás (com inclinação entre 11° e 15°), e de 20 polegadas na frente. O *design* desta cadeira permite maior aerodinâmica e estabilidade, visto ser uma cadeira de rodas para provas de velocidade.



Figura 9 - Modelos Top End
[fonte: *Invacare*, 2012]

Aveimédica

Esta empresa aveirense comercializa produtos ortopédicos, hospitalares e de geriatria. Na lista de produtos da *Aveimédica*, 2012, encontra-se um modelo de triciclo de tração manual para indivíduos com limitações nos membros inferiores. Relativamente a este modelo não foram encontradas especificações técnicas, pelo que apenas é possível analisar a estética do produto. Analisando a Figura 10 é evidente que a nível estrutural o produto apresenta um conceito bastante rudimentar e pouco atraente esteticamente. Os sistemas de funcionamento são também os mais simples, possuindo apenas uma marcha que não possui roda livre, servindo assim também como sistema de travagem. A propulsão resulta do movimento alternado de braços, sendo que a

mudança de direção funciona tal como numa bicicleta convencional. Este dispositivo não é dobrável e apresenta um volume pouco prático para arrumação.



Figura 10 - Modelo Triciclo de tração manual Aveimédica
[fonte: Aveimédica, 2012]

Hase

No capítulo dos triciclos de propulsão manual encontra-se também a marca *Hase*, 2012, empresa alemã fundada em 1994. O modelo *Handbike* é direcionado para utilizadores paraplégicos sendo que apresenta um *design* moderno e atrativo (ver Figura 11). O quadro é construído em alumínio 7005, possui rodas de 20 polegadas, 9 velocidades e travões de disco. Possui ainda apoios para as pernas do utilizador. Neste modelo, a propulsão é assegurada por movimento circular simultâneo de braços em torno da roda pedaleira, que está ligada ao guiador do dispositivo. Neste modelo a mudança de direção é realizada através do movimento de pêndulo invertido do guiador.



Figura 11 - Modelo Hase Handbike
[fonte: Hase, 2012]

Invacare

Para além das cadeiras de rodas anteriormente mencionadas, a marca *Invacare*, 2012, constrói também triciclos de tração manual, ilustrados na Figura 12. Estes triciclos são projetados

para mobilidade e passeio (selecionados os modelos *Excelerator Handcycle* e *XLT Excelsator Handcycle*) ou competição (selecionados os modelos *Force Handcycle* e *Force R Handcycle*). O modelo *Excelerator* possui quadro em aço carbono, rodas de 20 polegadas e 7 velocidades de cubo. O modelo *XLT Excelsator* é construído em alumínio 6061, com rodas de 26 polegadas e 7 velocidades. Para desporto, os modelos *Force* e *Force R* são fabricados em alumínio 7005, com rodas de 26 polegadas, travões *V-Brake* e 27 velocidades. Todos os modelos possuem rodas traseiras com inclinação entre os 3° e os 15°. O sistema de propulsão é em ambos os modelos idêntico ao referido para o modelo da marca *Hase*, sendo que a direção funciona pelo princípio de guiador das bicicletas.



Figura 12 - Modelos Top End Handcycle

[fonte: Invacare, 2012]

Sport-On

Sediada na Polónia, a marca *Sport-On*, 2012, dedica-se à fabricação de material desportivo para atletas com limitação física. O modelo *Explorer* (ver Figura 13) consiste numa plataforma que permite a indivíduos com paralisia dos membros inferiores chegar a locais até então inacessíveis numa cadeira de rodas convencional. Locais como montanhas, praias, terrenos acidentados, etc. Para isso, o *Explorer* é fabricado em liga de alumínio, possui suspensão independente nas rodas da frente e na roda traseira, 8 velocidades, travões de disco e rodas de 24 polegadas. Neste modelo a

locomoção e direção são controlados em diferentes locais, estando a roda pedaleira separada do guiador.



Figura 13 - Modelo Sport-On Explorer
[fonte: Sport-On, 2012]

Armbike

A marca *Armbike*, 2012, produz dois modelos de veículos, ilustrados na Figura 14. Um triciclo de locomoção manual e um adaptador para cadeira de rodas. O modelo *Tricycle* utiliza o movimento de remada para transmitir tração à roda da frente de 20 polegadas e com cubo de 7 velocidades. As rodas traseiras são de 28 polegadas. O adaptador *Armbike Kit* consiste em acoplar o sistema de transmissão do triciclo a uma cadeira de rodas, transformando-a num veículo de três rodas.



Tricycle



Kit

Figura 14 - Modelos Armbike

[fonte: Armbike, 2012]

Champion

A marca americana *Champion*, 2012, constrói veículos de recreio movidos a força de braços, terrestres e aquáticos. Deste modo o modelo *Ultra* foi tido em consideração na análise de mercado. Construído em aço, utiliza o movimento de puxar/empurrar o guiador para locomoção. Este funcionamento segue o princípio de eixo-manivela, onde o movimento linear do eixo de transmissão provoca rotação do eixo das rodas traseiras através de manivela. A direção é controlada por movimento de pernas e os travões são *V-Brake*. Não possui cassete de velocidades. O modelo referido é ilustrado na Figura 15.



Figura 15 - Modelo Champion Ultra

[fonte: Champion, 2012]

Mountain Trike

A *Mountain Trike*, 2012, (ver Figura 16) é uma versão radical de uma cadeira de rodas convencional. Proporciona ao utilizador mover-se em ambientes como florestas, praias, neve,

gravilha, lama, etc. Para além de duas rodas de 24 polegadas, a plataforma possui ainda uma roda traseira e duas mais pequenas na frente, para melhor estabilidade. O movimento de propulsão é feito através de alavancas controladas independentemente, onde se encontram manetes de travões de disco. Este método de alavanca permite obter maior rendimento do esforço do utilizador, sendo que o dispositivo possui relação de transmissão variável tal como uma bicicleta.



Figura 16 - Modelo Mountain Trike
[fonte: Mountain Trike, 2012]

Rota Mobility

Esta empresa norte-americana produz dois modelos de veículos semelhantes a uma cadeira de rodas, mas propulsionadas pelo movimento de alavanca. Estes modelos apresentam um *design* vanguardista e princípios de funcionamento complexos, nomeadamente o sistema de tração que é exclusivo da marca. O modelo *RoTrike* é um triciclo construído em alumínio, com duas rodas de 20 polegadas na traseira (inclinação de 10°) e uma roda de 16 polegadas na frente. Este dispositivo é desmontável para maior facilidade de arrumação e transporte. O modelo *RoChair* apresenta a morfologia de uma cadeira de rodas convencional, com uma roda traseira adicional. Ambas as plataformas estão referidas na Figura 17.



RoTrike



RoChair

Figura 17 - Modelos Rota Mobility

[fonte: Rota Mobility, 2012]

Rowbike

A marca *Rowbike*, 2012, desenvolveu um tipo de bicicleta movida através do movimento praticado no remo, em tudo idêntico ao movimento praticado nos modelos ergómetros. Neste caso, a empresa baseou-se no caso de sucesso da marca *Concept2*, referida mais à frente. Atualmente são produzidos três modelos desta bicicleta. A diferença entre estes são as dimensões do quadro e diâmetro das rodas, que vão desde 20 a 26 polegadas. Todos os modelos são fabricados em alumínio 7005, com travões *V-Brake* e cassete de 7 velocidades. O sistema de direção é controlado pelo movimento de pés. Os três modelos são representados na Figura 18.



720 Sport



720 Crew



726 King



Figura 18 - Modelos Rowbike

[fonte: Rowbike, 2012]

Rowingbike

A empresa holandesa *Rowingbike*, 2012, criou em 1986 o primeiro modelo de uma bicicleta que replicasse o movimento do remo. Desde então tem vindo a desenvolver o conceito até ao modelo atual. O modelo *Rowingbike* assemelha-se a uma bicicleta de postura reclinada, fabricada em carbono, com travões de disco. A particularidade desta bicicleta é que não é o banco que desliza, mas sim o apoio de pés. Outro aspeto é a substituição da típica corrente por um sistema de cabo. Após o movimento de propulsão onde o desenrolar do cabo provoca a rotação da roda traseira, dá-se o movimento contrário de recolha do cabo por efeito de mola. Existe também a versão de três rodas, o *Rowingtrike*. Ambos os modelos encontram-se na Figura 19.



Rowingbike



Rowingtrike

Figura 19 - Modelos Rowingbike e Rowingtrike

[fonte: *Rowingbike*, 2012]

2.2.1 MÁQUINAS DE REMO

Paralelamente à análise de plataformas de mobilidade foram também estudados os modelos de remos ergómetros para uso doméstico e profissional. De seguida serão referidos os principais produtos analisados deste segmento.

BH Fitness

A marca *BH Fitness*, 2012, desenvolve equipamento desportivo para uso doméstico, tal como máquinas de musculação, passadeiras, bicicletas estáticas e máquinas de remo. Neste projeto apenas estas últimas foram alvo de estudo. Os três modelos selecionados são ergómetros e possuem estrutura dobrável para fácil arrumação (ver Figura 20). O sistema de remo é central e o regulador de força é controlado através de travão magnético.



London



Boston R307



Vario R350



Figura 20 - Modelos BH Fitness
[fonte: BH Fitness, 2012]

Concept2

A marca norte americana *Concept2*, 2012, apresenta-se como líder mundial em remos ergómetros. Há mais de 30 anos que desenvolve máquinas de remo vendidas em todo o mundo. É a marca mais requisitada por ginásios e academias de remo. Possui dois modelos de remada central, com estrutura dobrável, ilustrados na Figura 21. Ambos os modelos possuem volante de inércia para suavizar o movimento, e o nível de força é regulado através do controlo da saída de ar resultante do movimento do volante de inércia.



Model D



Model E



Figura 21 - Modelos Concept2

[fonte: Concept2, 2012]

Kettler

A marca alemã *Kettler*, 2012, surge nos anos 50 e desde então tem vindo a evoluir e tornar-se uma das marcas referência em equipamentos de *fitness*, bicicletas, ténis de mesa e brinquedos de criança. No domínio dos equipamentos de *fitness* encontram-se as máquinas de remo. A Figura 22 contém os três modelos selecionados desta marca para análise. O modelo *Favorit* foi projetado para uso doméstico, possui estrutura em aço carbono mas não dobrável. O ajuste do nível de força é feito através da regulação de cilindros hidráulicos

acoplados aos remos. O modelo *Kadett* é em tudo idêntico ao *Favorit*, apenas difere na configuração dos remos e na estrutura dobrável. O modelo *Cambridge* é um ergómetro construído em aço carbono, dobrável, de remada central e regulador de força por travão magnético.



Favorit



Kadett



Cambridge

Figura 22 - Modelos Kettler

[fonte: Kettler, 2012]

Oartec

Esta empresa de máquinas de remo surge em 2005 através do remador australiano Matt Roach, inventor do modelo *Simulator*, um dos dois modelos fabricados pela *Oartec*, 2012, juntamente com o modelo *Slider*. Este modelo é um ergómetro de remada central, não dobrável, com sistema de regulação de força através da regulação da válvula de saída de ar resultante do movimento do volante de inércia. O modelo *Simulator* aproxima-se mais da situação real de remada, possuindo uma estrutura dobrável para melhor arrumação, remos independentes, com sistema de regulação de força semelhante ao modelo *Slider*.

Os modelos analisados deste fabricante encontram-se ilustrados na Figura 23.



Figura 23 - Modelos Oartec

[fonte: Oartec, 2012]

2.2.2 CONCEPTS

Para além de veículos movidos pelo movimento de remada comercializados, foram também encontrados na atividade de *benchmarking* projetos que ainda se encontram a nível de

protótipo, ou então apenas ainda em fase concetual. As imagens seguintes referem-se a protótipos/conceitos encontrados.



Figura 24 - Conceitos de veículos a remo

[fonte: Love These Pics, 2012]

3 ANÁLISE BIOMECÂNICA

Nesta fase do projeto procede-se à análise biomecânica da modalidade desportiva do remo, do ciclismo e ainda do movimento de propulsão da cadeira de rodas. O estudo do remo é fundamental para o desenvolvimento da plataforma, visto ser necessário conhecer os movimentos e amplitudes angulares dos segmentos anatómicos do utilizador, bem como as capacidades de força e binário resultantes da atividade. Para fins comparativos, procede-se à análise biomecânica do ciclismo, relativo às plataformas a pedal, e também ao movimento típico de propulsão de cadeira de rodas, para estudar de que modo a nova plataforma pode ou não representar uma alternativa viável à cadeira de rodas.

Deste modo, é possível comparar o trabalho desenvolvido pelos membros superiores na prática do remo e na propulsão da cadeira de rodas, e também o trabalho desenvolvido pelos membros inferiores entre o remador e o ciclista.

3.1 BIOMECÂNICA NO REMO

O remo é um desporto náutico onde o atleta efetua um movimento de remada cíclico, no qual os membros superiores e inferiores se movimentam de forma sincronizada (Steinacker, 1993). Hoje em dia é também habitual encontrar máquinas de remo *indoor* em ginásios e em ambiente doméstico.

O movimento da remada é caracterizado por quatro fases distintas, nas quais todos os grandes grupos musculares contribuem para esta ação. Por esta razão o remo é uma modalidade que trabalha uma maior quantidade de músculos do que a maioria dos desportos.

Nas páginas que se seguem será feita a análise aos músculos solicitados para a execução do movimento, nos membros superiores e inferiores, bem como será descrita a sequência do movimento e forças e binário resultantes do mesmo.

Músculos

De seguida são enumerados os músculos acionados no movimento. A enumeração será dividida por zonas anatómicas do corpo humano, segundo a zona de ombro e membros superiores, tronco e membros inferiores.

Ombro e membros superiores

Tríceps braquial, flexores dos dedos e do polegar, flexores do punho, deltoide anterior, deltoide posterior, supra espinhoso, coracobraquial, bíceps braquial, braquiorradial, flexor e extensor ulnar do carpo, pronador redondo (Silva, 2009).

Tronco

Reito abdominal, trapézio, serrátil anterior, eretores da espinha, grande dorsal, peitoral maior, peitoral menor, romboides (Silva, 2009).

Quadril e membros inferiores

Iliopsoas, sartório, glúteos, isquiotibiais, gastrocnémio, tibial anterior, quadríceps femoral, solear (Silva, 2009).

Fases

Segundo Mazzone, 1988, o movimento de remada é dividido em quatro fases distintas: ataque, fase motora (ação das pernas, balanço, ação dos braços), final e recuperação.

Ataque

Esta fase representada na Figura 25 dá início ao ciclo de remada na qual os músculos eretores da coluna se encontram relaxados para permitir a flexão do tronco à frente, movimento este que é realizado pelos abdominais. O psoas e o ilíaco flexionam a pélvis e as ancas. O tronco inclina-se para a frente, junto dos membros inferiores, os gémeos e os isquiotibiais contraem enquanto os joelhos são fletidos. Os quadríceps alongam e o reto femoral ajuda na flexão da anca. A dorsiflexão dos tornozelos é feita pelos tibiais anteriores. Os músculos fletores dos dedos e braço permitem ao remador agarrar o remo (Silva, 2009).

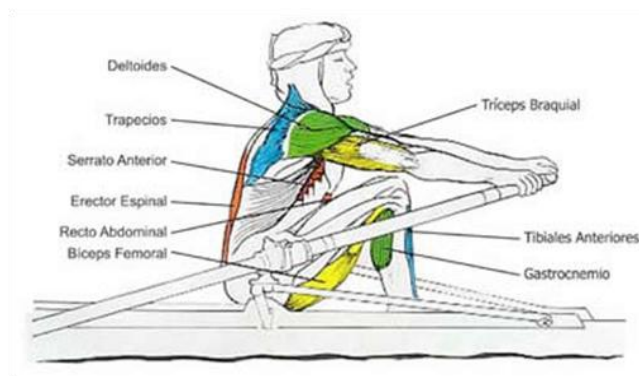


Figura 25 - Remo - fase de ataque

[fonte: Silva, 2009]

Fase motora

Ação das pernas

A parte inicial da fase motora advém da potência das pernas. Os quadríceps estendem os joelhos, e a flexão dos pés é realizada pelos músculos soleares e os gêmeos. Os músculos estabilizadores da coluna suportam as costas. Todos os músculos do ombro estão contraídos. Destes, a incluir o supra espinhoso, o infra espinhoso, subescapular, trapézio maior e menor, assim como o bíceps. A escápula é estabilizada pelo serrátil anterior e os músculos do trapézio (Silva, 2009). Esta fase é ilustrada pela Figura 26.

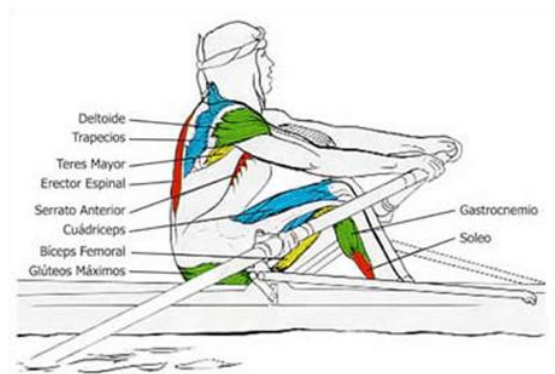


Figura 26 - Remo - fase motora - ação das pernas

[fonte: Silva, 2009]

Balanço

Na fase de balanço (ver Figura 27), assim que os joelhos finalizam a extensão, a anca é também estendida pela contração do glúteo e dos gêmeos. A extensão das costas é feita pela

contração do eretor da espinha. Na parte superior do corpo, a flexão do cotovelo ocorre pela contração do bíceps e dos rádio cubitais (Silva, 2009).

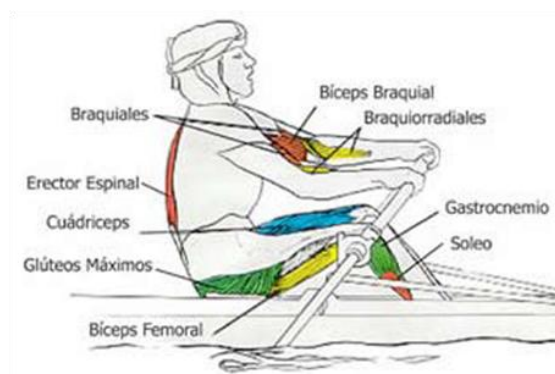


Figura 27 - Remo - fase motora - balanço

[fonte: Silva, 2009]

Ação dos braços

Os joelhos estão totalmente estendidos. A chegada da anca atrás é agora completada. A parte superior do corpo está contraída e com grande força para finalizar o balanço. Os ombros estão descontraídos e estendidos. A parte superior do braço é internamente rodada pelo grande dorsal e peitoral maior. O tríceps menor, o deltoide posterior, e a longa cabeça do bíceps atuam na articulação do ombro. A escápula é rodada para baixo pelo peitoral menor e puxada para trás pelo trapézio e os romboides (Silva, 2009). Na Figura 28 é ilustrada a fase de ação dos braços.

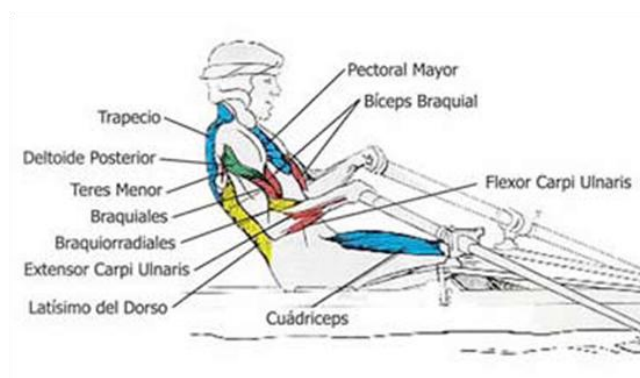


Figura 28 - Remo - fase motora - ação dos braços

[fonte: Silva, 2009]

Final

Na fase final, representada na Figura 29, os joelhos e tornozelos permanecem estendidos enquanto as ancas completam a extensão. Os extensores das costas continuam em contração, os braços são rodados internamente pelo grande dorsal. O tríceps estende o cotovelo ligeiramente (Silva, 2009).

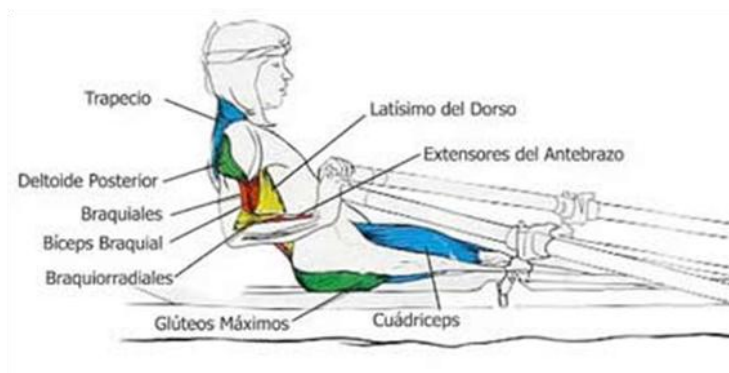


Figura 29 - Remo - fase final

[fonte: Silva, 2009]

Recuperação

Os braços são puxados para a frente pelos tríceps, até estarem completamente estendidos. Os deltóides anteriores contraem com o coracobraquial e os bíceps, a parte superior dos braços é ligeiramente elevada assim que passa pelos joelhos. Os abdominais flexionam o dorso e uma vez que as mãos passam os joelhos, o banco começa a deslizar para a frente (Silva, 2009). Esta fase conclui o ciclo de remada e é ilustrada na Figura 30.

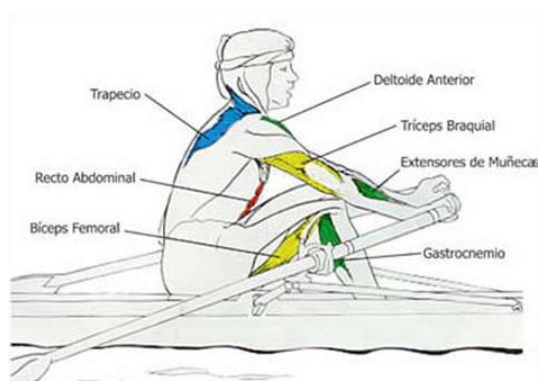


Figura 30 - Remo - fase de recuperação

[fonte: Silva, 2009]

Amplitudes angulares

Durante a execução do ciclo de movimentos ocorrem variações de amplitude angular dos segmentos anatómicos. Deste modo, desde o início do movimento (fase de ataque) até ao término da fase final da remada, ocorrem variações angulares de posição em torno do ombro, cotovelo, pulso, anca, joelho e tornozelo. A Figura 31 ilustra o diagrama referente às articulações referidas, elaborado num estudo biomecânico realizado por Colloud, 2002, num ergómetro.

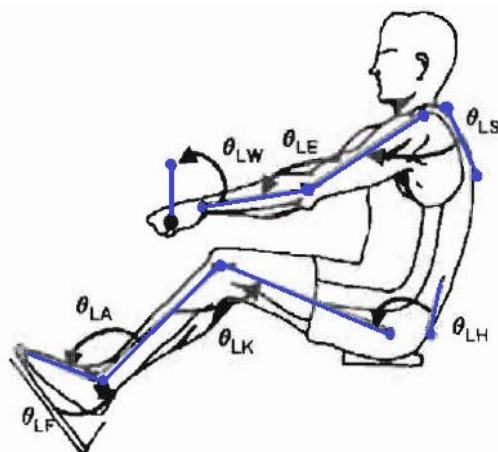


Figura 31 - Remo - amplitudes angulares

[fonte: Colloud, 2002]

Associada à Figura 31 surge a Tabela 4, onde estão inseridos os valores de amplitude angular resultantes dos movimentos de flexão e extensão dos membros superiores e inferiores, segundo o plano sagital.

Tabela 4 - Remo - amplitudes angulares

Designação	Articulação	Amplitude (°)
θ_{LS}	Ombro	100.0
θ_{LE}	Cotovelo	98.7
θ_{LW}	Pulso	47.2
θ_{LH}	Anca	75.9
θ_{LK}	Joelho	112.2
θ_{LA}	Tornozelo	54.9

Forças e binários

Segundo a 1ª Lei de Newton, o remador tem de aplicar uma força suficiente para vencer as forças de arrasto e manter movimento do barco. Aquando da aplicação da força na pá, uma força de reação com a mesma magnitude é criada em sentido oposto, de acordo com a 3ª Lei de Newton. É esta força que provoca movimento da embarcação. A Figura 32 representa a esquematização das forças envolvidas na remada. O remador exerce força nos punhos e no finca pés, ao mesmo tempo que as pás exercem força na água. A forqueta serve de apoio para o movimento de alavanca nos remos. Todo o conjunto embarcação/remador exerce pressão na água, mantendo-se à superfície graças às forças de impulsão.



Figura 32 - Remo - forças envolvidas
[fonte: imagem adaptada de Dinares, 2012]

Para efeitos de análise de forças envolvidas no movimento de remada, foram pesquisados vários artigos de estudos biomecânicos da modalidade. Através de testes realizados em ergómetros (ver Figura 33), Baptista, 2005, determina que durante o movimento um atleta exerce cerca de 800 N no punho do ergómetro e cerca de 1000 N no finca pés.

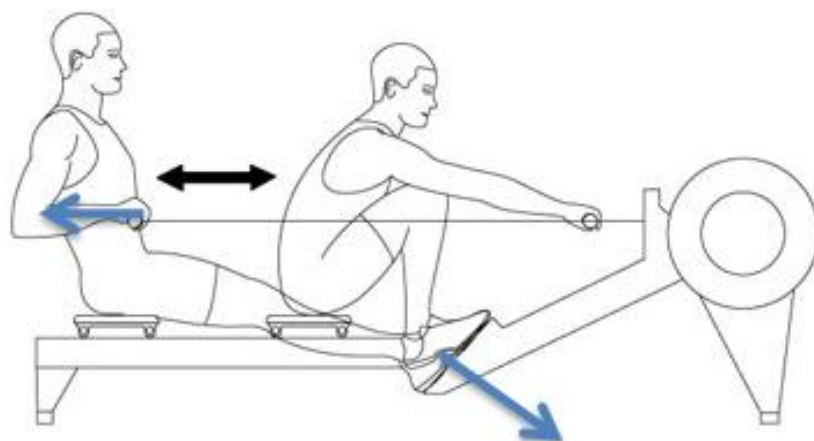


Figura 33 - Remo - forças no ergómetro
[fonte: imagem adaptada de Fitness Network, 2012]

3.2 BIOMECÂNICA NO CICLISMO

O ciclismo é um dos desportos mais populares do mundo. Pode ser praticado com fins competitivos, como modo de lazer ou simplesmente para exercício físico. Para além da vertente desportiva, a bicicleta representa um meio de transporte utilizado há já muitos anos.

A ação de pedalar caracteriza-se por um movimento cíclico de rotação em torno de um eixo. O utilizador exerce alternadamente força nos pedais em torno do eixo da roda pedaleira que transmite rotação para a roda traseira através de corrente. Segundo Bullock et al., 2009, este movimento é dividido em quatro fases: preparação, fase motora, final, recuperação.

Músculos

Na presente análise será ignorada a contribuição dos músculos dos membros superiores, dado que apenas contribuem para a manutenção do equilíbrio do ciclista, não entrando diretamente na força aplicada nos pedais durante o movimento. Assim apenas serão considerados os músculos situados no quadril e membros inferiores (ver Figura 34).

Quadril e membros inferiores

Glúteos máximos, vasto lateral, vasto medial, reto femoral, solear, gêmeos, tibial anterior, semitendinoso, semimembranoso, bíceps femoral (Bullock et al., 2009).

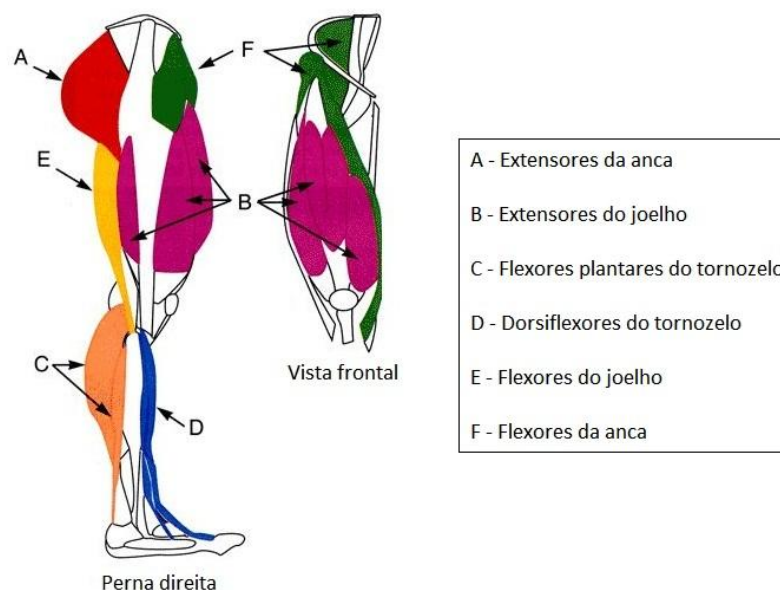


Figura 34 - Ciclismo - músculos

[fonte: imagem adaptada de Bullock et al., 2009]

Fases

De seguida serão analisadas as quatro fases do movimento de pedalada: preparação, fase motora, final e recuperação. Estas fases encontram-se esquematizadas na Figura 35.



Figura 35 - Ciclismo - fases

[fonte: imagem adaptada de Muller, 2012]

Preparação

Esta fase serve para preparar a perna e o pé para a fase motora. No início desta fase, o joelho encontra-se quase totalmente fletido pronto para iniciar o movimento. Inicia-se a extensão do joelho, juntamente com ligeira flexão e extensão da anca aquando da passagem do pedal pelo ponto morto superior.

O tornozelo passa de ligeira flexão plantar para uma posição angular paralela ao solo. Os principais músculos envolvidos nesta fase são os fletores da anca e tornozelo (Bullock et al., 2009).

Fase motora

É nesta fase que se gera a maior potência do ciclo da pedalada. O joelho e tornozelo continuam o movimento de extensão. Entram em trabalho os músculos extensores da anca (semitendinoso, semimembranoso, bíceps femoral) bem como o sartório e glúteos.

Os músculos extensores do tornozelo (quadríceps) e abdominais auxiliam o movimento (Bullock et al., 2009).

Final

O joelho inicia a flexão, juntamente com ligeira extensão e flexão da anca, aquando da passagem do pedal pelo ponto morto inferior. Os músculos responsáveis pela flexão do joelho são o semitendinoso, semimembranoso e bíceps femoral, bem como o gastrocnémio.

O tornozelo realiza flexão plantar, pela atuação do gastrocnémio, solear e perónio (Bullock et al., 2009).

Recuperação

Nesta fase ocorre principalmente flexão da anca, pelos músculos reto femoral, sartório, tensor da fáscia lata e grácil. Ajudam também os músculos iliopsoas e pectíneo.

Ocorre também flexão do joelho pelos músculos anteriormente referidos.

O tornozelo realiza ligeira dorsiflexão quando o pedal se aproxima do ponto morto superior, solicitando os músculos tibial anterior, extensor do tendão de Aquiles, terceiro fibular, e extensor longo dos dedos (Bullock et al., 2009).

Amplitudes angulares

Durante um ciclo completo de pedalada o atleta realiza flexão e extensão da anca, joelho e tornozelo no plano sagital. Assim, foram levantados os valores de amplitude de movimento para as diferentes posições angulares dos membros inferiores, resultantes de estudos práticos realizados por Ericsson et al., 1988. A Figura 36 esquematiza os ângulos para as referidas articulações.

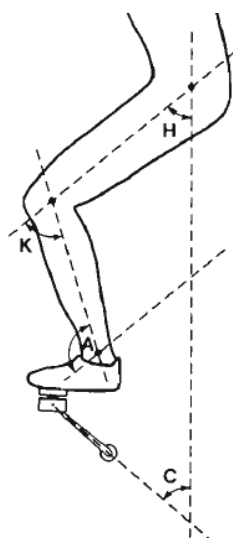


Figura 36 - Ciclismo - amplitudes angulares
 [fonte: imagem adaptada de Ericsson et al., 1988]

Os valores referentes às amplitudes de movimento em torno da anca, joelho e tornozelo, resultantes dos movimentos de flexão e extensão dos segmentos anatómicos dos membros inferiores encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Ciclismo - amplitudes angulares

Designação	Articulação	Amplitude (°)
H	Anca	38
K	Joelho	66
A	Tornozelo	24

Forças e binários

Tal como acontece para o remador, o ciclista tem de vencer as forças de arrasto para iniciar o movimento. Neste caso, o movimento é feito através da aplicação de força em torno de um eixo pedaleiro que por sua vez está ligado à roda traseira da bicicleta por corrente. A Figura 37 contém a esquematização das forças envolvidas durante a atividade física em análise.

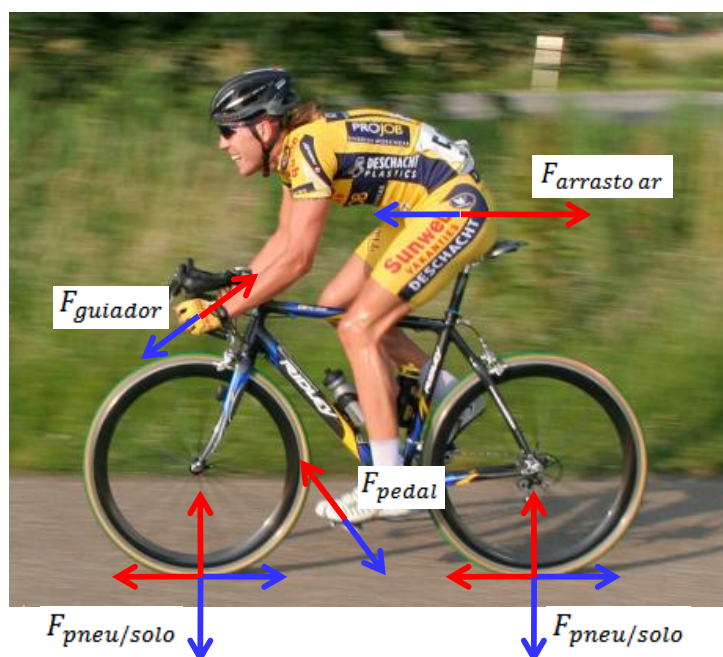


Figura 37 - Ciclismo - forças envolvidas
[fonte: imagem adaptada de Pixelate Studio, 2012]

Segundo estudos realizados por Coyle et al., 1991, revelam que durante o movimento de pedalada, um ciclista pode desenvolver forças no pedal na ordem dos 450N (componente tangencial) e 100N (componente radial), esquematizadas na Figura 38. Resulta desta combinação de forças um momento de cerca de 80 Nm em torno do eixo pedaleiro.

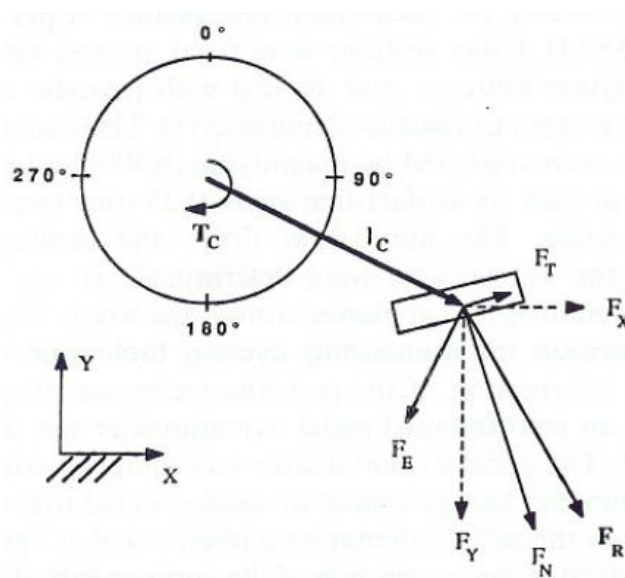


Figura 38 - Ciclismo - forças no pedal
[fonte: Coyle et al., 1991]

3.3 BIOMECÂNICA NA PROPULSÃO DE CADEIRA DE RODAS

Dado que no início do projeto um dos objetivos propostos era a possibilidade de um indivíduo deficiente motor, ou com limitação física, ser capaz de utilizar a plataforma de modo eficiente, é necessário estudar os aspetos biomecânicos inerentes no modo de propulsão de cadeiras de rodas manuais. Será analisado o estilo mais comum, sendo pela tração resultante do contato da mão com o aro da roda.

Músculos

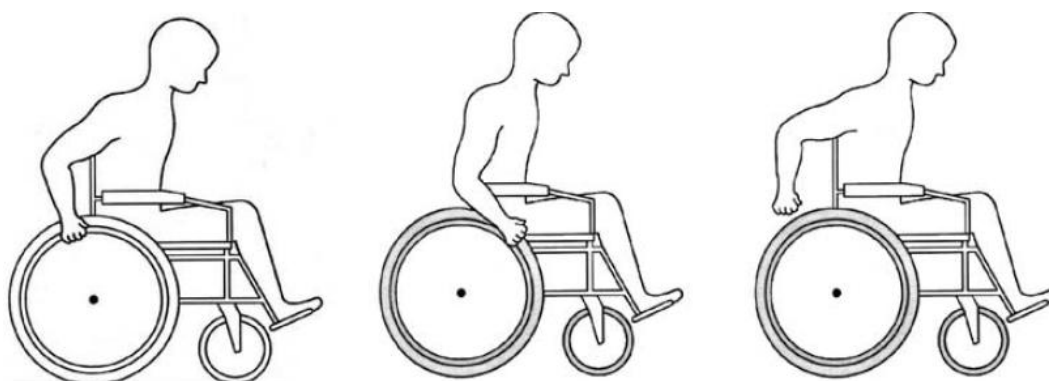
Dada a incapacidade de ativação dos músculos dos membros inferiores, um indivíduo utilizador de cadeira de rodas apenas irá solicitar os músculos do ombro e membros superiores para o movimento de propulsão.

Ombros e membros superiores

Deltoide anterior, deltoide posterior, bíceps braquial, tríceps braquial, flexor ulnar do carpo, extensor radial do carpo, grande peitoral, flexor do tronco (Guthrie, 2008).

Fases

De acordo com Guthrie, 2008, o movimento comumente aplicado na propulsão de cadeira de rodas manuais é um movimento apenas constituído por duas fases. A primeira fase onde o indivíduo traciona o aro da roda para a frente e a segunda onde retorna à posição inicial, como ilustra a Figura 39.



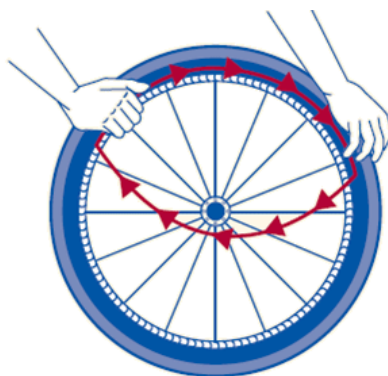


Figura 39 - Propulsão de cadeira de rodas - fases

[fonte: Guthrie, 2008]

Fase motora

A mão inicia o contato com o aro da roda e aplica a força propulsiva. Esta força é desenvolvida inicialmente pelo bíceps braquial, sendo depois assegurada pelos músculos do ombro, tríceps, flexor ulnar, extensor radial longo do carpo, peitoral maior, grande dorsal e adicionalmente pelo flexor do tronco. Esta fase corresponde a cerca de 25% do ciclo (Guthrie, 2008).

De frisar que neste movimento, são solicitados músculos de pequena dimensão, e o movimento de rotação da roda é de aproximadamente 90° durante esta fase, como refere Kloosterman et al., 2012.

Fase recuperação

A mão liberta-se do aro e retorna à posição inicial. Este movimento representa cerca de 75% do ciclo e é efetuado pela ativação do deltoide posterior e tríceps (Guthrie, 2008).

Amplitudes angulares

A nível de posicionamento dos membros superiores durante o movimento em estudo, foram levantados valores referentes a variação de amplitude em torno das articulações do ombro, cotovelo e pulso, segundo o plano sagital, como ilustra a Figura 40.

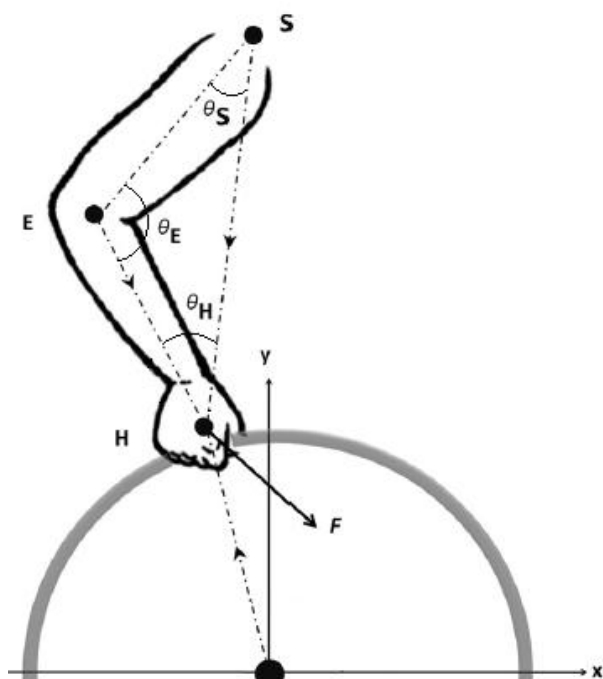


Figura 40 - Propulsão de cadeira de rodas - amplitudes angulares

[fonte: imagem adaptada de Lin et al., 2010]

Através de estudos realizados por Morrow et al., 2003 e Shimada et al., 1998, foram levantados os valores referentes à amplitude angular do movimento de propulsão de cadeira de rodas, relativamente à extensão e flexão segundo o plano sagital. Estes valores encontram-se referidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Propulsão de cadeira de rodas - amplitudes angulares

Designação	Articulação	Amplitude (°)
θ_S	Ombro	50
θ_E	Cotovelo	80
θ_W	Pulso	50

Forças e binários

Os valores de força e binário resultantes do movimento variam de indivíduo para indivíduo, dependendo do seu nível de paralisia, bem como do seu peso e inclinação do piso. A força resultante do movimento de propulsão é decomposta numa componente tangencial e radial,

ilustradas na Figura 41, tendo sido ignorada a componente axial de força. Estudos realizados por Boninger et al., 1999, revelam valores de força desenvolvida até 95 N, sendo que apenas cerca de 50 N representam força tangencial necessária para a propulsão, resultando em binários de 15 Nm no centro da roda.

Desta análise é possível concluir que o movimento convencional de propulsão de cadeira de rodas apresenta baixos valores de eficiência, dado que grande parte da força desenvolvida pelos músculos não é aproveitada para a propulsão. Associando o fato de o esforço ser efetuado por um pequeno número de grupos musculares de pequena dimensão, e de a articulação do pulso e ombros serem sujeitas a cargas repetidamente, o movimento por si só é pouco ergonómico.



Figura 41 - Propulsão de cadeira de rodas - forças envolvidas
[fonte: imagem adaptada de Imarket, 2012]

3.4 ANÁLISE COMPARATIVA

Efetuada uma análise comparativa entre as atividades físicas acima referidas, são retiradas várias relações:

- A nível de solicitações musculares globais, a modalidade de remo combina um maior número de músculos do que as restantes atividades. O movimento de remada é muito mais rico em variedade de grupos musculares e amplitudes de movimento, a nível dos membros inferiores e membros superiores, comparativamente com o ciclismo e a propulsão de cadeiras de rodas, respetivamente;
- Efetuando a comparação entre as forças desenvolvidas pelos membros inferiores entre o remo e o ciclismo, constata-se que no remo são gerados maiores valores de força. Por outro lado, um ciclista suporta o ciclo de movimento durante várias horas, contrariamente ao remador que privilegia a aplicação de grande força durante curto espaço de tempo. Isto também se deve ao fato do movimento de pedalar conter uma componente rotacional contrariamente ao movimento linear efetuado no remo, onde são gerados maiores valores de força provocando maior fadiga.
- Em termos de solicitações dos membros superiores, novamente o remo apresenta valores mais elevados de forças desenvolvidas comparativamente com o movimento de propulsão de cadeiras de rodas. Esta comparação não pode ser tida como válida dado que o movimento de remada engloba trabalho dos membros inferiores, o que não acontece na propulsão de cadeiras de rodas. Outra questão relacionada com o movimento de propulsão de cadeira de rodas é o surgimento de lesões por esforço repetitivo nas articulações do pulso, segundo estudos de Cooper et al., 1998. Adicionalmente, é reconhecido que o remo adaptado é tido como um método de treino para desenvolvimento de força física para indivíduos paraplégicos (Rodgers et al., 2001). Isto porque requer a ação de um maior número de grupos musculares e de maior dimensão e capacidade de produção de força, e também dada a maior amplitude de movimentos dos membros superiores.
- No caso particular para indivíduos paraplégicos, atendendo às capacidades de desenvolvimento de forças pelos membros superiores na posição sentada, é visível a maior potência resultante em movimento de afastamento do que de aproximação

(Kroemer et al., 2012). Deste modo, um indivíduo terá maior facilidade e gerará mais forças no movimento de flexão do que no de extensão do braço (ver Tabela 7). O que mais uma vez torna mais viável o movimento de remar do que o movimento de tracionar o aro das rodas.

Tabela 7 - Força desenvolvida pelos membros superiores em posição sentada para o percentil 5

Força (N) desenvolvida pelos membros superiores na posição sentada				
Flexão do cotovelo	Flexão		Extensão	
(graus)	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.
180	222	231	187	222
160	187	249	133	187
120	151	187	116	160
90	142	185	98	160
60	116	107	96	151

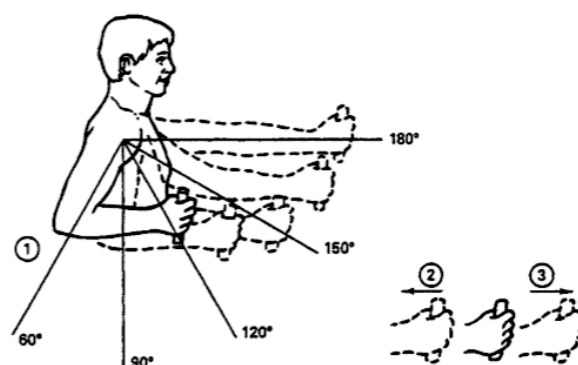


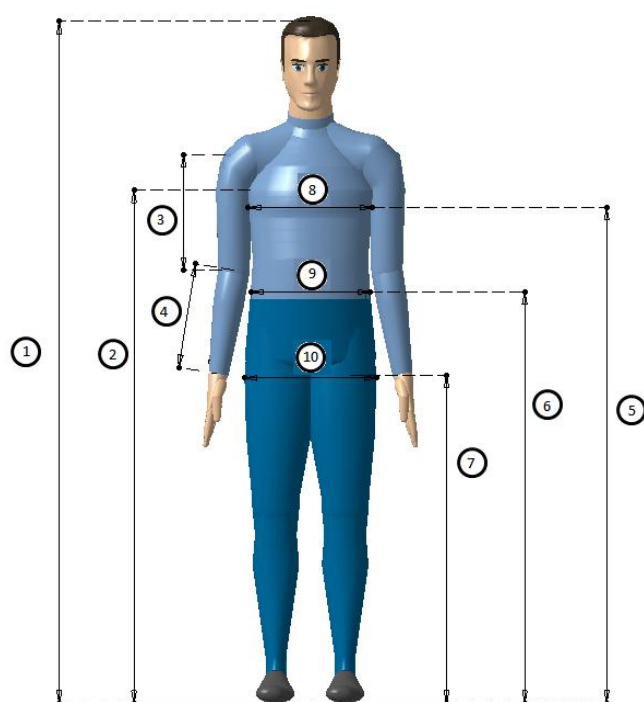
Figura 42 - Movimento dos braços em posição sentada

[fonte: Kroemer et al., 2012]

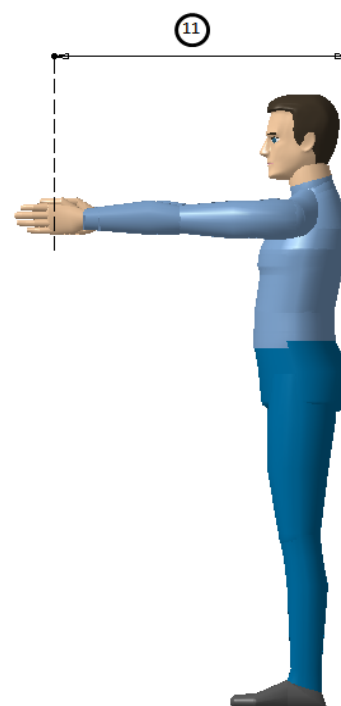
3.5 DADOS ANTROPOMÉTRICOS

O projeto mecânico da plataforma será realizado com o auxílio do módulo de ergonomia do CATIA V5 R19 de forma a compatibilizar a modelação da mesma com as estruturas anatómicas dos diferentes tamanhos de indivíduos a utilizarem a plataforma.

Deste modo, recolheram-se os dados antropométricos relativos à população portuguesa, utilizando como referência um estudo realizado pelo Instituto para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho (Arezes, 2006). Em CATIA V5 R19, no módulo *Ergonomics Designs & Analysis*, o editor de medidas do modelo humano permite inserir manualmente as dimensões ilustradas na Figura 43:



1. Estatura
2. Altura axilas
3. Comprimento do braço
4. Comprimento do antebraço
5. Altura do peito
6. Altura da cintura
7. Altura das virilhas
8. Largura do peito
9. Largura da cintura
10. Largura das ancas



11. Alcance funcional anterior

12. Altura sentado
13. Comprimento ombro-cotovelo
14. Altura dos olhos
15. Largura da anca (sentado)
16. Largura do pé (sentado)

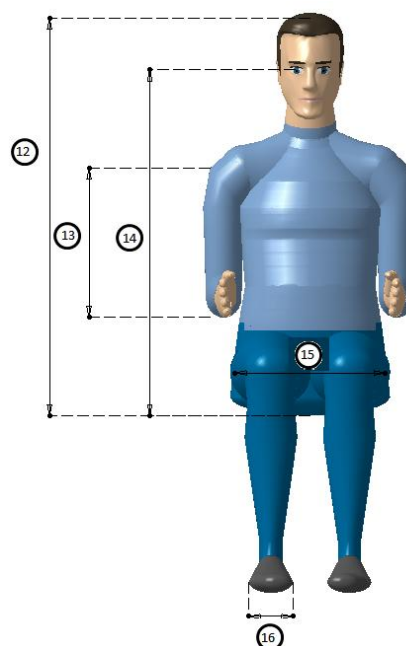


Figura 43 - Dados antropométricos

A Tabela 8 representa os valores que serão inseridos no CATIA V5 R19 para o modelo. Estes valores são referentes ao percentil 50 de um indivíduo adulto do sexo masculino:

Tabela 8 - Dados antropométricos

Nº	Variável	Valor (mm)
1	Estatura	1.690
2	Altura axilas	-
3	Comprimento do braço	314
4	Comprimento do antebraço	247
5	Altura do peito	1.217
6	Altura da cintura	-
7	Altura das virilhas	820
8	Largura do peito	436
9	Largura da cintura	294
10	Largura das ancas	-
11	Alcance funcional anterior	730
12	Altura sentado	920
13	Comprimento ombro-cotovelo	375
14	Altura dos olhos	810
15	Largura da anca (sentado)	380
16	Largura do pé (sentado)	93

4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA

Esta tarefa da dissertação consiste no desenvolvimento propriamente dito do produto. A nova solução técnica e de *design* será obtida por aplicação das metodologias atualmente estabelecidas como referência. Inicialmente serão inquiridos os potenciais clientes, serão analisadas as suas necessidades, irá ser concetualizado toda a ideologia da plataforma e posteriormente será realizado todo o projeto mecânico da mesma.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE

Segundo Ulrich e Eppinger, 2008, a fase inicial do processo de desenvolvimento da plataforma engloba as tarefas de recolha das necessidades dos clientes, interpretação e análise dos dados recolhidos. Esta etapa irá permitir a identificação de todos os requisitos do cliente para o produto a desenvolver.

4.1.1 RECOLHA DE INFORMAÇÕES

Dada a especificidade do projeto, foi assumida como principal fonte de informação o clube de remo local "Os Galitos". Procedeu-se também ao inquérito junto de indivíduos frequentadores do ginásio da Universidade de Aveiro. Neste projeto foram também considerados dados obtidos anteriormente na disciplina de Projeto e Engenharia do Produto, na qual o papel de cliente foi desempenhado pelos colegas de turma. Após feita a apresentação da ideia inicial de projeto, foram distribuídos *post-its* pelos alunos nos quais escreveram as suas exigências para o produto.

Em anexo segue um exemplar dos questionários e *post-its* distribuídos pelos indivíduos inquiridos (ver Anexo II).

4.1.2 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Este passo consiste em traduzir as necessidades originais expressas pelos inquiridos para qualidades que o produto deve apresentar. Ou seja, após receção de todos os dados em bruto, agruparam-se as necessidades redundantes e procedeu-se à conversão das necessidades em requisitos do cliente. As necessidades expressas pelos inquiridos e a respetiva conversão para requisitos de cliente estão contidas na Tabela 9.

Tabela 9 - Necessidades do cliente

Necessidade Original	Requisitos Cliente
"Poder ser utilizador em vários terrenos" "Poder ser utilizado em subidas"	Apto para vários terrenos
"Ser ergonómico" "Ser confortável" "Ter apoio de costas" "Assento com apoio de costas" "Deve ter apoio lombar" "O assento deve confortável" "Ter encosto" "Ter punhos ergonómicos"	Configuração ergonómica
"Ter <i>design</i> atraente"	<i>Design</i> apelativo
"Ser portátil"	Dispositivo portátil
"Ser eficiente na transmissão de movimento braço/rodas"	Eficiência no movimento
"Pode ser utilizado por deficientes motores"	Estrutura ajustável a deficientes motores
"Pode ser utilizado por crianças e adultos" "Finca pés ajustável"	Estrutura ajustável para várias idades
"Ser modular"	Estrutura modular
"Ser robusto" "Ser fiável"	Estrutura resistente
"Ser fácil de usar" "Ser fácil de equilibrar" "Ser fácil de montar" "Boa estabilidade"	Fácil utilização
"Ser fácil de arrumar"	Facilidade de arrumação
"Ser leve"	Peso reduzido
"Ser pequeno"	Pouco atravancamento
"Ser barato"	Preço acessível
"Ser seguro"	Segurança utilizador
"Ter vários níveis de força exercida pelo utilizador"	Variação do nível de força
"Ter seletor de velocidades"	Variação de velocidade

Após a interpretação dos dados brutos obtidos procede-se à contagem do número de vezes que cada exigência surge. Esta contagem será útil para determinar os valores de grau de importância dos requisitos do produto, do ponto de vista do cliente, que irão ser inseridos na matriz da casa da qualidade, elaborada posteriormente. Os valores da contagem encontram-se na Figura 44.

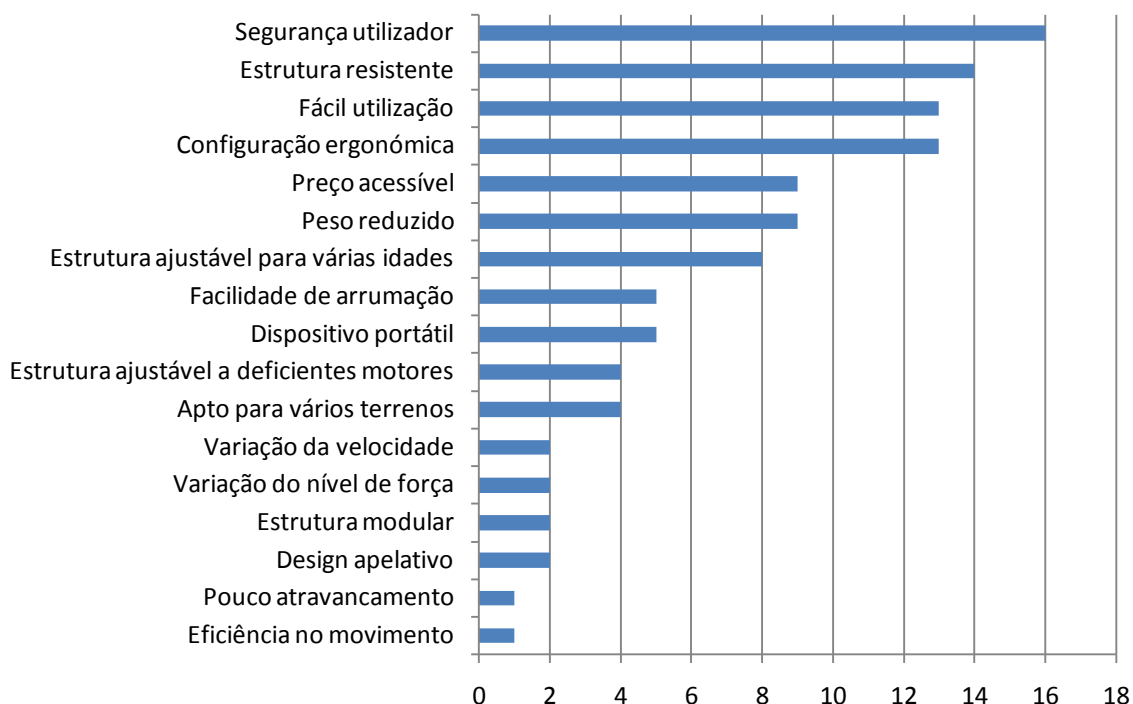


Figura 44 - Estatística das necessidades de cliente

Esta disposição estatística das necessidades do cliente permite já identificar quais as necessidades que surgem num maior número de inquiridos. Neste caso, a grande maioria dos inquiridos demonstrou necessidade de segurança para o uso do dispositivo, que por sua vez deve ser estruturalmente resistente. A facilidade de utilização e ergonomia são também necessidades que surgem no topo do gráfico estatístico. Um baixo preço de venda, leveza e adaptabilidade da plataforma são também das necessidades mais manifestadas. Os restantes requisitos do gráfico apesar de surgirem em menor número de inquéritos serão também aspetos levados em conta no projeto, não representando esta análise estatística inicial uma condicionante para o desenrolar do projeto.

4.1.3 HIERARQUIZAÇÃO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE

O próximo passo a dar no projeto é hierarquizar os requisitos do cliente, de modo a estabelecer uma ordem de valor entre os mesmos. Esta hierarquização dos requisitos é feita através do diagrama de Mudge. Segundo Csillag, 1995, o diagrama de Mudge permite priorizar as funções por ordem de importância que estas representam para o cumprimento das exigências dos usuários, através da comparação entre pares de requisitos pela atribuição de valores que indicam as seguintes relações: (1) tão importante quanto; (2) mais importante; (3) muito mais importante. Ou seja, o diagrama permite comparar os requisitos entre si, definindo qual o que mais contribui para o sucesso do produto, e quanto mais importante é esse requisito.

Na Tabela 10 estabelecem-se as designações de cada requisito a ser inserido no diagrama de Mudge.

Tabela 10 - Requisito e respetiva designação

Requisito	Designação
Apto para vários terrenos	A
Configuração ergonómica	B
<i>Design</i> apelativo	C
Dispositivo portátil	D
Eficiência no movimento	E
Estrutura ajustável a deficientes motores	F
Estrutura ajustável para várias idades	G
Estrutura modular	H
Estrutura resistente	I
Fácil utilização	J
Facilidade de arrumação	L
Peso reduzido	M
Pouco atravancamento	N
Preço acessível	O
Segurança utilizador	P
Variação do nível de força	Q
Variação do nível de velocidade	R

Na Figura 45 está o diagrama de Mudge completo, tendo sido construído posteriormente o gráfico representativo da hierarquização resultante do diagrama.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	TOTAL	%	IMPORTÂNCIA
A	B	A	D	E	F	G	H	I	J	L	M	A	A	P	Q	R	3	1,744	16
A	B	1	2	2	1	2	1	3	2	1	2	1	1	3	2	2			
	B	2	1	0	B	G	B	I	B	B	B	B	B	P	B	B	17	9,884	3
		C	D	E	C	G	H	I	J	L	M	C	C	P	Q	R	5	2,907	12
			1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	3	2	2			
			D	E	D	G	D	I	J	D	D	D	D	P	Q	R	10	5,814	9
				1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1			
				E	E	G	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	15	8,721	4
					2	1	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1			
					F	G	F	I	J	L	M	F	F	P	Q	R	7	4,07	11
						1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1			
						G	G	I	J	G	G	G	G	P	P	P	12	6,977	6
							1	1	1	1	1	1	1	1	0	0			
							H	I	J	H	M	H	H	P	Q	R	4	2,326	13
								2	1	0	1	1	1	2	1	1			
								I	I	I	I	I	I	P	I	I	18	10,47	2
								I	1	2	0	2	1	1	1	1			
									J	J	J	J	J	P	J	J	13	7,558	5
										1	1	1	1	1	1	1			
										L	M	N	O	P	Q	R	4	2,326	13
											1	1	2	3	2	2			
											M	M	M	P	Q	R	9	5,233	10
											1	1	1	2	1	1			
												N	O	P	Q	R	1	0,581	17
													2	2	1	1			
													O	P	Q	R	4	2,326	13
														2	1	1			
														P	P	P	29	16,86	1
															1	1			
															Q	R	12	6,977	6
																0			
																R	12	6,977	6

Figura 45 - Diagrama de Mudge

Após construção do diagrama de Mudge é possível hierarquizar os requisitos de cliente atendendo à importância relativa expressa percentualmente (ver Figura 46).

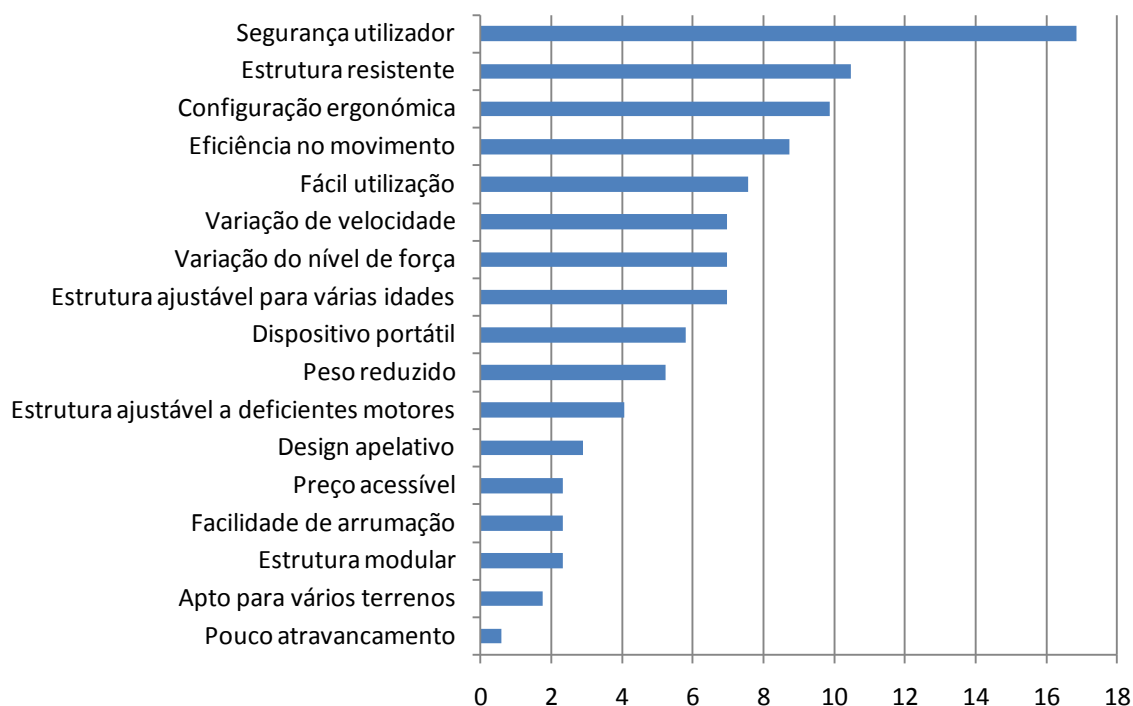


Figura 46 - Hierarquização de requisitos de cliente

Comparando os dados da Figura 44 e Figura 46, verifica-se que a segurança e ergonomia continuam numa posição de maior importância. Outros requisitos subiram/desceram de nível de importância. De frisar que apesar de o requisito de eficiência no movimento apenas ter sido expresso uma vez, assume uma posição cimeira na hierarquização dos requisitos, isto porque é uma condição indispensável para a viabilidade da plataforma. Nesta análise também se constata que o peso da plataforma desceu ligeiramente de nível de importância.

Da construção do diagrama de Mudge onde se define a hierarquização dos requisitos de cliente, é possível dividi-los graus de importância entre 1 e 5 (ver Tabela 11), valores que irão entrar também na construção da matriz da casa da qualidade.

Tabela 11 - Grau de importância de requisitos

Requisito	Total	Importância	Grau
Segurança utilizador	29	1	5
Estrutura resistente	18	2	
Configuração ergonómica	17	3	
Eficiência no movimento	15	4	4
Fácil utilização	13	5	
Estrutura ajustável para várias idades	12	6	
Variação do nível de força	12	7	
Variação de velocidade	12	8	
Dispositivo portátil	10	9	3
Peso reduzido	9	10	
Estrutura ajustável a deficientes motores	7	11	
<i>Design</i> apelativo	5	12	
Estrutura modular	4	13	2
Facilidade de arrumação	4	14	
Preço acessível	4	15	
Apto para vários terrenos	3	16	
Pouco atravancamento	1	17	1

4.1.4 ANÁLISE DE KANO

O diagrama de Kano é uma ferramenta de medição da qualidade utilizada para categorizar e priorizar as necessidades dos clientes com base na influência que estas provocam na satisfação do cliente (Hill, 2012). Ou seja, combinando o desempenho do produto com o nível de satisfação do cliente, é determinado o efeito que variação da capacidade de resposta a um determinado requisito provocará no nível de satisfação do cliente.

A análise Kano permite dividir os requisitos em três grupos:

1. Requisitos obrigatórios: são os requisitos que obrigatoriamente têm de estar presentes no produto. Isto é, a ausência de um requisitos básico provoca grande insatisfação no cliente, mas por outro lado o aumento do seu nível de desempenho não aumenta a satisfação do cliente;
2. Requisitos unidimensionais ou requisitos esperados: são os requisitos que aumentam/diminuem a satisfação no cliente consoante o seu maior/menor nível de desempenho;

3. Requisitos inesperados ou requisitos de excitação: são requisitos que o cliente não espera ver no produto, mas que provocam grande nível de satisfação no cliente.

O diagrama de Kano elaborado para este projeto encontra-se ilustrado na Figura 47.

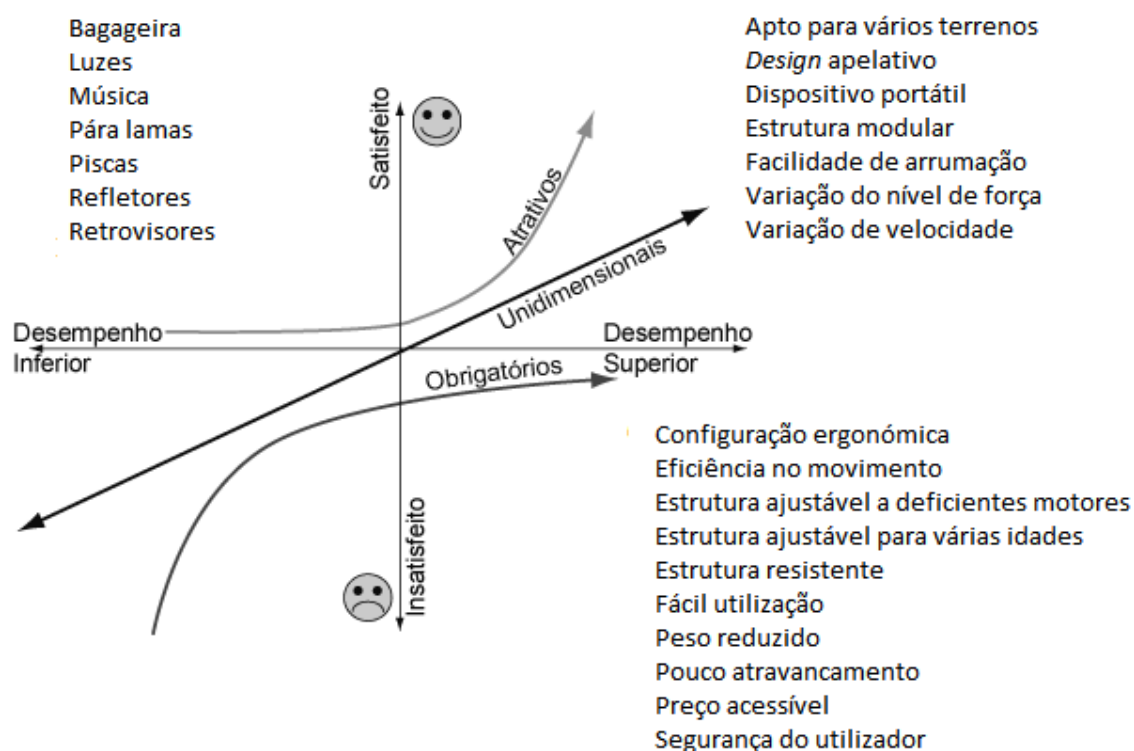


Figura 47 - Diagrama Kano

4.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA PLATAFORMA

Após a correta interpretação dos requisitos do cliente, é necessário convertê-los em expressões mensuráveis, denominadas requisitos ou especificações do produto. Estas especificações são os meios de resposta do produto às necessidades do cliente. É importante efetuar uma boa conversão de requisitos de cliente em especificações do produto, pois posteriormente serão estabelecidas relações entre os mesmos, na construção da casa da qualidade. A Tabela 12 contém as especificações técnicas definidas para a plataforma, as unidades de medida associadas e os respetivos requisitos associados a cada especificação.

Tabela 12 - Especificações do produto

	Especificações	Unidades	Requisitos respondidos
Dimensões em uso	Comprimento Largura Altura Altura banco ao solo Largura do banco	cm cm cm cm cm	Estrutura ajustável para várias idades Segurança utilizador Configuração ergonómica Estrutura ajustável a deficientes motores Fácil utilização Peso reduzido <i>Design</i> apelativo Apto para vários terrenos Pouco atravancamento
Dimensões em arrumação	Comprimento Largura Altura	cm cm cm	Dispositivo portátil Facilidade de arrumação Pouco atravancamento
Peso	Peso máximo utilizador Peso do veículo	kg kg	Estrutura ajustável para várias idades Peso reduzido
Diâmetro Das rodas	Dianteira Traseira	polegadas polegadas	<i>Design</i> apelativo Eficiência no movimento Estrutura modular Apto para vários terrenos Pouco atravancamento
Componentes	Velocidades Ângulo das rodas Comprimento do carril Distância pés/banco Níveis de força Rigidez do quadro	unidades graus cm cm unidades GPa	Eficiência no movimento Estrutura ajustável a deficientes motores Configuração ergonómica Variação do nível de força/velocidade Segurança utilizador Fácil utilização Apto para vários terrenos Estrutura modular Estrutura ajustável a deficientes motores Peso reduzido Estrutura resistente

4.3 CASA DA QUALIDADE – MATRIZ QFD

De acordo com Back et al., 2008, o QFD (*Quality Function Deployment*) é fundamentado na preocupação de que os produtos devem ser projetados de modo a refletir os desejos, gostos e expectativas dos utilizadores, que devem ser considerados de algum modo no processo de

desenvolvimento do produto. Após a recolha e interpretação das necessidades do cliente, conversão em requisitos do produto e definição das especificações do produto, é necessário relacionar estes dados. É através da matriz QFD que se confrontam os requisitos do utilizador com as especificações do produto, no sentido de identificar oportunidades e deficiências no projeto. Nesta matriz entram também os dados recolhidos no *benchmarking*. De seguida será descrito o processo de construção da matriz, sendo que em anexo segue uma imagem com a matriz completa (ver Anexo III).

O primeiro passo na construção da matriz da casa da qualidade é o preenchimento da matriz de relações entre os requisitos do cliente e especificações do produto. As relações são quantificadas em fortes, moderadas ou nulas (nível 9, nível 3, nível 1, respetivamente). Estas relações permitem identificar os requisitos do projeto com maior influência na satisfação de um determinado requisito do consumidor e a ausência e/ou inadequabilidade das relações. Os valores atribuídos a cada relação entre requisito/especificação encontram-se ilustrados na Figura 48.

		Comprimento (uso)	Largura (uso)	Altura (uso)	Altura banco ao solo	Largura do banco	Comprimento (arrumo)	Largura (arrumo)	Altura (arrumo)	Peso máximo utilizador	Peso do veículo	Dímetro rodas dianteiras	Dímetro rodas traseiras	Velocidades	Ângulo das rodas	Comprimento do caril	Distância pés/banco	Níveis de força	Rigidez do quadro
RC: Requisitos do Cliente	Robustez	Segurança utilizador		3	9	3									3				9
		Estrutura resistente	1	1	1					9	3								9
		Apto para vários terrenos	1	1	1						3	3	3	9	3			9	9
	Ergonomia	Configuração ergonómica			9	9								3	3	9	9		
		Eficiência no movimento									3	3	9	9		9	9	3	
		Fácil utilização	1	1	1	3	3									3	3	3	
		Estrutura ajustável para várias idades				9	3			9	3	3	3	9	3	9	9	3	3
		Estrutura ajustável a deficientes motores		1	1	9	9				3	9	9	3	3		3	3	
	Versatilidade	Variação do nível de força									3	3	3	9				9	3
		Variação de velocidade									3	3	3	9					
		Dispositivo portátil	1	1	1		9	9	9		9	3	3						
	Tamanho	Facilidade de arrumação					9	9	9		3	3	3						
		Pouco atravancamento	9	9	9		3	3	3										
		Peso reduzido	3	3	3					9	3	3	3						9
	Aparência	Estrutura modular					3	3	3		3	3	3	3				3	3
		Design apelativo	9	9	9	3	3					3	3		3				
	Custo	Preço acessível	3	3	3			3	3	3		9	9	9				9	9
Grau de importância (req. produto)		120	151	124	309	209	111	111	111	150	270	219	262	313	116	237	250	200	337
Percentual		3	4	3	9	6	3	3	3	4	7	6	7	9	3	7	7	6	9
Unidade		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	kg	polegadas	polegadas	unidades	graus	cm	cm	unidades	GPa

Figura 48 - Matriz relações requisitos de cliente/requisitos do produto

O próximo passo é fazer a avaliação competitiva e argumentos de venda. Nesta fase são inseridos os dados provenientes da análise da concorrência. Esta avaliação permite identificar pontos fortes/fracos em relação à concorrência, que podem ser considerados como vantagem ou pontos de melhoria, respetivamente.

Dado o elevado número de produtos analisados, foram selecionadas as marcas classificadas como principais concorrentes: *Di Blasi*, *Azub*, *Invacare*, *Kettler*, *Rota Mobility* e *Rowbike*. A escala utilizada vai de 1 a 5, correspondendo ao nível de resposta dada pelo fabricante a cada necessidade do cliente. Foi definido o argumento de venda 1 para todos os requisitos. A análise efetuada encontra-se na Figura 49.

Bechmarking de Mercado														
Ciente	Kano (interno)	Grau de importância (geral)	Nosso Produto	Di Blasi	Azub	Invacare	Kettler	Rota Mobility	Rowbike	Plano	Índice de melhoria	Argumento de vendas	Peso absoluto	Peso relativo
5	O	5	4	4	4	5	4	5	3	5	1,25	1	6,25	9,01
5	O	5	4	5	4	4	5	4	4	5	1,25	1	6,25	9,01
3	L	2	2	2	2	4	1	2	3	2	1	1	2	2,88
5	O	5	4	4	4	5	4	5	4	5	1,25	1	6,25	9,01
2	O	4	4	4	4	2	4	5	5	5	1,25	1	5	7,21
5	O	4	4	4	4	3	4	5	2	5	1,25	1	5	7,21
4	O	4	3	4	4	3	4	4	4	4	1,33	1	5,33	7,69
3	O	3	4	1	1	5	1	5	1	4	1	1	3	4,33
2	L	4	3	2	2	3	5	4	2	3	1	1	4	5,77
2	L	4	5	5	5	2	1	5	5	5	1	1	4	5,77
4	L	3	4	5	5	2	4	3	2	5	1,25	1	3,75	5,41
4	L	2	4	5	5	3	4	5	3	5	1,25	1	2,5	3,61
2	O	1	3	4	4	3	3	5	3	3	1	1	1	1,44
4	O	3	3	3	5	5	3	5	4	5	1,67	1	5	7,21
2	L	4	4	3	5	2	1	4	3	4	1	1	4	5,77
2	L	3	3	3	5	3	2	5	3	4	1,33	1	4	5,77
4	O	2	3	2	2	2	4	2	3	3	1	1	2	2,88
													69,3	100

Figura 49 - Análise competitiva e argumentos de venda

A fase seguinte na construção da matriz QFD consiste na definição de valores alvo das especificações do produto, efetuando comparações com os produtos da concorrência. O objetivo é identificar áreas de sobre e sub dimensionamento, que não representam vantagens em relação à concorrência e são aspetos a melhorar no projeto. A quantificação dos requisitos do produto encontra-se representada na Figura 50.

	Unidade	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kg	kg	polegadas	polegadas	unidades	graus	cm	cm	unidades	GPa
Bechmarking Técnico de Produto	Di Blasi	-	69,5	100	81	-	68	28	62,5	100	21,4	20	20	5	0	-	-	-	205
	Azub	-	83	76	31	-	-	-	-	125	17	20	20	-	0	-	-	-	72
	Invacare	-	-	-	18	40	-	-	-	113	13,6	26	26	-	0/3/6	-	-	-	70
	Kettler	124	78	26	-	-	124	78	26	130	21,7	-	-	-	-	-	25-94	5	205
	Rota Mobility	132	69	86	56	48	-	-	-	-	-	20	16	8	10	-	-	-	70
	Rowbike	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	7	-	-	-	-	72

Figura 50 - Quantificação dos requisitos do projeto

Finalmente é necessário determinar a matriz de correlações entre os requisitos do projeto e determinar o direcionamento da melhoria. As correlações podem ser positivamente fortes/fracas, negativamente fortes/fracas, ou inexistentes, consoante os requisitos em análise. O direcionador de melhoria é um fator que indica qual o sentido que o requisito deve tomar para responder às necessidades do cliente. Ou seja, há requisitos do produto cujo valor deve aumentar ou diminuir para agrado do cliente. Há situações onde a variação do mesmo não implica alteração no nível de satisfação do cliente. A matriz de correlações definida para este projeto é demonstrada na Figura 51.

[illegible]

Correlação		
++		Posit. Forte
+		Posit. Fraco
		Inexistente
-		Neg. Fraca
--		Neg. Forte




Direcionador de melhoria	
	não importa a variação do valor
	quanto maior o valor melhor
	quanto menor o valor melhor

Figura 51 - Matriz de correlações

Da construção da matriz QFD saíram os valores alvo das especificações (ver Tabela 13). Estes serão os valores que devem ser obtidos no final do projeto com vista a responder de forma adequada às necessidades expressas pelo cliente. No entanto, estes valores podem não ser atingidos de forma exata no final, mas devem estar inseridos no intervalo entre o valor marginal e o valor máximo estabelecido para cada requisito do produto.

Tabela 13 - Valores alvo das especificações

	Especificações	Grandeza	Valor alvo
Dimensões em uso	Comprimento	cm	130
	Largura	cm	70
	Altura	cm	50
	Altura banco ao solo	cm	40
	Largura do banco	cm	45
Dimensões em arrumação	Comprimento	cm	70
	Largura	cm	50
	Altura	cm	30
Peso	Peso máximo utilizador	kg	120
	Peso	kg	20
Diâmetro das rodas	Frente	polegadas	20
	Trás	polegadas	8
Componentes	Velocidades	unidades	10
	Ângulo das rodas	graus	0
	Comprimento do carril	cm	60
	Distância pés/banco	cm	50
	Níveis de força	unidades	5
	Rigidez do quadro	GPa	70

Da casa da qualidade é possível realizar nova hierarquização dos requisitos de cliente. Até então a hierarquização definida levava em linha de conta apenas as necessidades expressas e o modo como se relacionam entre si, através do diagrama de Mudge. A matriz QFD permite determinar o peso relativo de cada necessidade do cliente, tendo em consideração o grau de importância geral, o índice de melhoria (que relaciona as características atuais do produto com o plano previsto) e o argumento de vendas.

Deste modo, os requisitos serão ordenados por ordem decrescente do seu peso relativo, como demonstra a Figura 52.

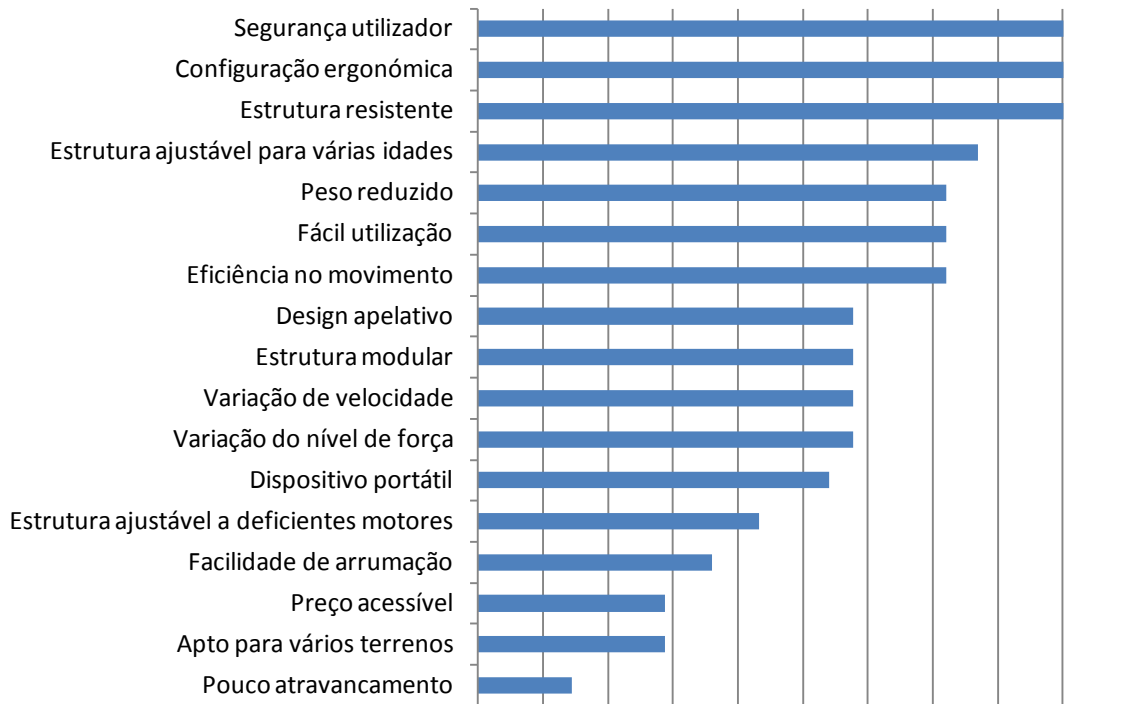


Figura 52 - Gráfico do peso relativo dos requisitos de cliente

Outra informação útil obtida pela análise da matriz QFD é a importância de cada requisito do produto. Estes dados são obtidos pelo somatório da importância da relação de cada requisito. Quantificar a importância de cada requisito representa um método auxiliar de identificação dos principais requisitos do projeto, bem como um modo de os priorizar entre si. Não obstante, esta quantificação nunca deve substituir a avaliação qualitativa dos mesmos.

Na Figura 53 está representada a hierarquização destes requisitos por ordem decrescente de importância percentual:

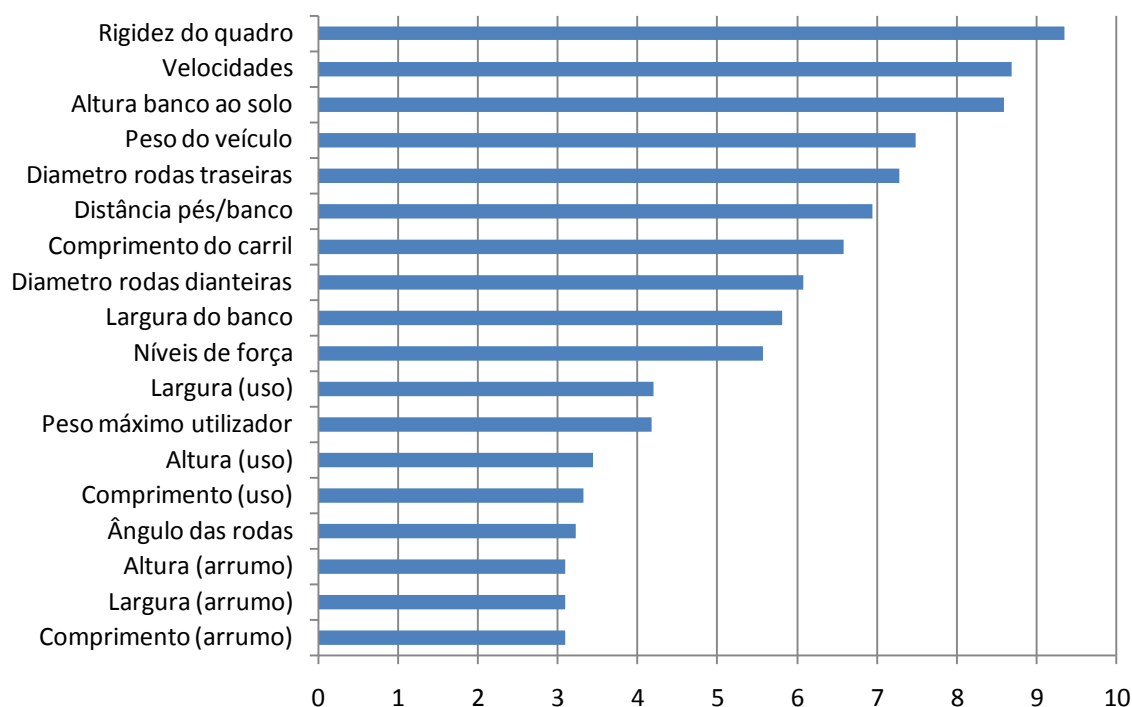


Figura 53 - Gráfico da importância percentual dos requisitos do produto

Após a obtenção da totalidade da matriz QFD (ver Anexo III), é necessário interpretar os dados obtidos da sua construção. De seguida serão analisados os aspetos mais importantes da matriz obtida.

Relativamente à matriz de relações (ver Figura 48), não são detetadas linhas vazias. Isto é, não existem desejos do consumidor por satisfazer. Os requisitos do projeto satisfazem os diversos requisitos do cliente.

Ainda analisando a matriz de relações, também não são detetadas colunas vazias. Caso isso acontecesse, seria um indicador de sobredimensionamento da plataforma. Isto porque o produto pode até apresentar um elevado nível de resposta a uma determinada especificação, mas esta não será aproveitada pelo utilizador.

Após elaboração da matriz de avaliação competitiva (ver Figura 49) é necessário analisar se existem ou não pontos críticos e/ou de conflito, bem como identificar as áreas de oportunidade do projeto e os aspetos obrigatoriamente a melhorar.

Segundo Ulrich e Eppinger, 2008, os pontos críticos referem-se aos requisitos de elevada importância para o cliente nos quais o produto a desenvolver se encontra abaixo da concorrência.

Caso o requisito apresente elevada importância para o consumidor, estes pontos devem ser melhorados urgentemente. Na matriz obtida são detetados os pontos críticos relacionados com a ergonomia, facilidade de utilização e portabilidade. Estes são aspetos que o cliente valoriza e a concorrência oferece soluções viáveis para estas necessidades.

Segundo os autores, os denominados pontos de conflito são os pontos nos quais o produto em análise se encontra abaixo da concorrência a nível competitivo, mas acima da concorrência a nível técnico. Ou seja, novamente há uma satisfação exagerada da especificação mas não acrescenta valor ao produto visto que não é aproveitada pelo utilizador. No projeto não são identificados pontos de conflito.

Ainda relativamente à posição de mercado do produto, as denominadas áreas de oportunidade referem-se às situações onde a posição competitiva de mercado é fraca quer para o produto a desenvolver, quer para a concorrência. Caso existam requisitos de grande importância para o cliente, e o produto a desenvolver apresente uma boa resposta a estes, então estas características devem ser consideradas como argumentos de venda e de *marketing*. Neste projeto, a adaptabilidade a deficientes motores e a eficiência no movimento são tidas como áreas de oportunidade, visto que a concorrência não apresenta grande resposta a estes requisitos. Caso a plataforma se apresente como uma boa solução de mobilidade para indivíduos com limitações físicas, para além de ampliar o número de potenciais clientes, esta característica pode despoletar um novo interesse pelo produto, o que o torna mais apetecível para os potenciais clientes. O mesmo acontece com o aumento da eficiência do movimento de propulsão. Caso este requisito seja respondido de forma eficaz, a eficiência da plataforma irá levar ao aumento da sua versatilidade, dado que poderá ser utilizada tanto para mobilidade como desporto.

Tal como referem Ulrich e Eppinger, 2008, a matriz da casa da qualidade deverá também evidenciar os pontos nos quais o produto apresenta deficiências, sendo assim necessário melhorar imperativamente estes aspetos. Neste projeto, a portabilidade e o *design* são aspetos indispensáveis de melhorar. A possibilidade de transporte da plataforma é um requisito de elevada importância para o cliente, e é também um aspeto no qual a concorrência é forte. Deste modo, é necessário garantir que este requisito é satisfeito de modo a não comprometer o sucesso do produto. Apesar de a necessidade estética do produto não ter sido reconhecida como de elevada importância para o cliente, foi reconhecido que esta seria um argumento de venda de grande influência. Dado que a concorrência apresenta superioridade neste ponto, a melhoria do *design* do produto é condição indispensável para a garantia de competitividade no mercado.

4.4 GERAÇÃO, SELEÇÃO E TESTE DE CONCEITOS

O passo seguinte é geração, seleção e teste de diferentes conceitos de solução. Segundo Limberg, 2008, o conceito de produto pode ser referido como uma descrição aproximada do uso de tecnologias, princípios de trabalho e a forma física do produto a ser realizado. Através da exploração de alternativas, cedo no processo de inovação, reduz-se amplamente a probabilidade da equipa encontrar um conceito superior mais tarde nesse mesmo processo, ou que um concorrente introduza uma inovação drasticamente melhor.

Primeiramente será feita a análise funcional da plataforma na configuração de mobilidade e de transporte. De seguida clarificam-se as funções principais e subdividem-se as mesmas em funções mais simples. Para cada função serão procuradas soluções já existentes bem como serão pensadas soluções inovadoras. Finalmente procede-se à combinação das diferentes soluções e à sua esquematização em esboços.

4.4.1 DECOMPOSIÇÃO DE FUNÇÕES

Com o intuito de compreender melhor como relacionar os conceitos gerados, é boa prática proceder à decomposição do problema inicial em problemas mais simples para assim facilitar o processo de conceção do produto. A Figura 54 representa o diagrama de funções do produto, em situação de utilização e arrumação.

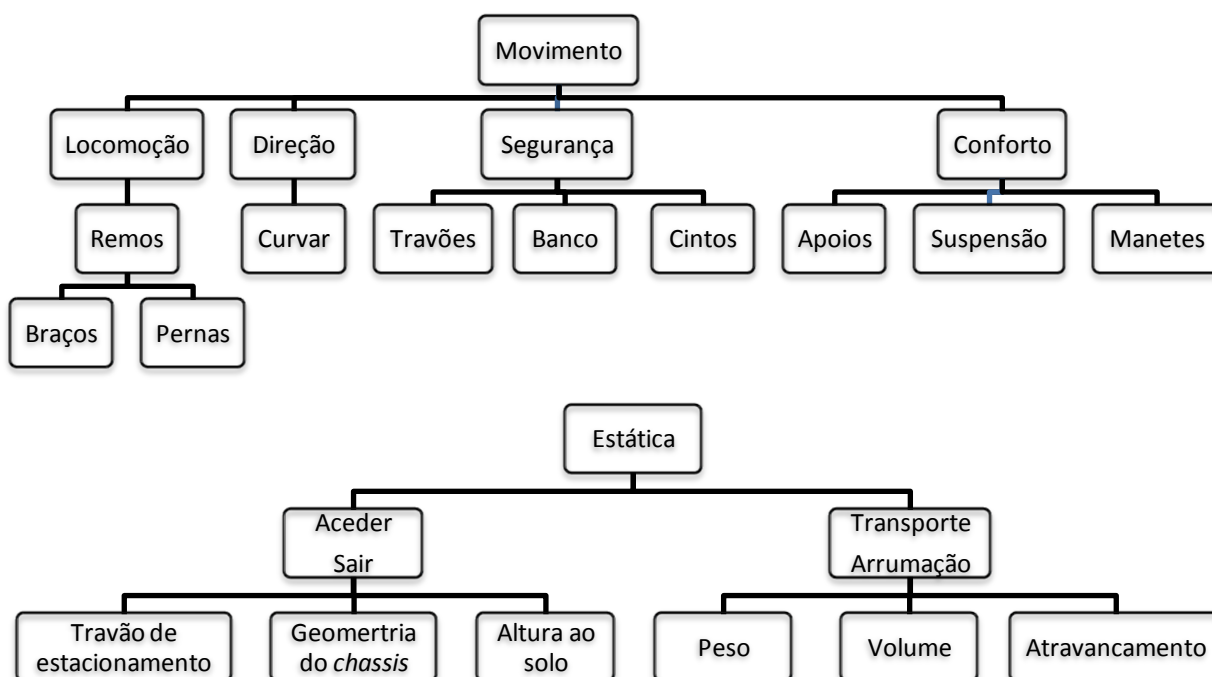


Figura 54 - Diagrama de funções

4.4.2 ÁRVORE DE CLASSIFICAÇÃO DE CONCEITOS

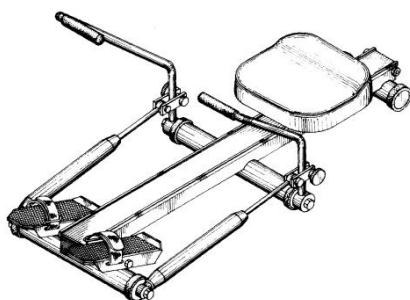
Após a decomposição das funções do produto, é necessário interligar de forma lógica todos os conceitos gerados. Desta maneira inserem-se os conceitos gerados num esquema denominado de "árvore de classificação de conceitos".



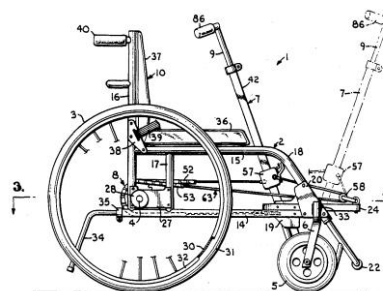
Figura 55 - Árvore de classificação de conceitos

4.4.3 PATENTES

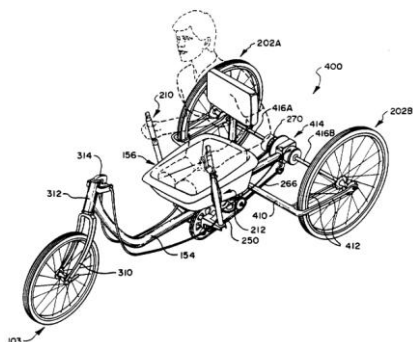
Após morosa pesquisa de modelos já patenteados de plataformas movidas pelo movimento de remada, foram selecionados cinco exemplos de soluções interessantes ao desenvolvimento do projeto (ver Figura 56): uma patente de uma máquina de remo de pequena dimensão; uma patente de adaptação de uma cadeira de rodas convencional ao movimento de remada (efeito alavanca); uma patente de um triciclo adaptado a paraplégicos também através de movimento de alavanca, mas já mais completo do que a cadeira de rodas; duas patentes de veículos a remos, incluindo banco deslizante.



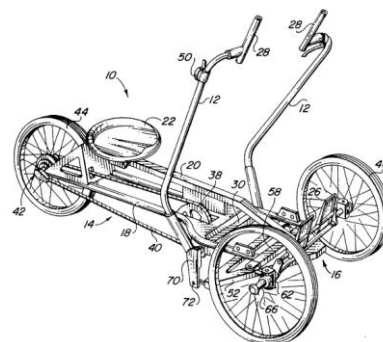
Patente USD268194



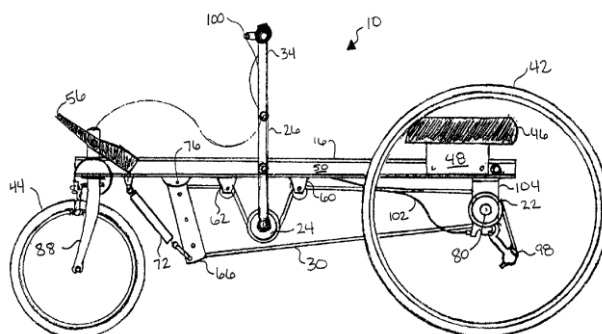
Patente US4811964



Patente US4705284



Patente US5536029



Patente US20030178807

Figura 56 - Patentes
[fonte: Wikipatents, 2012]

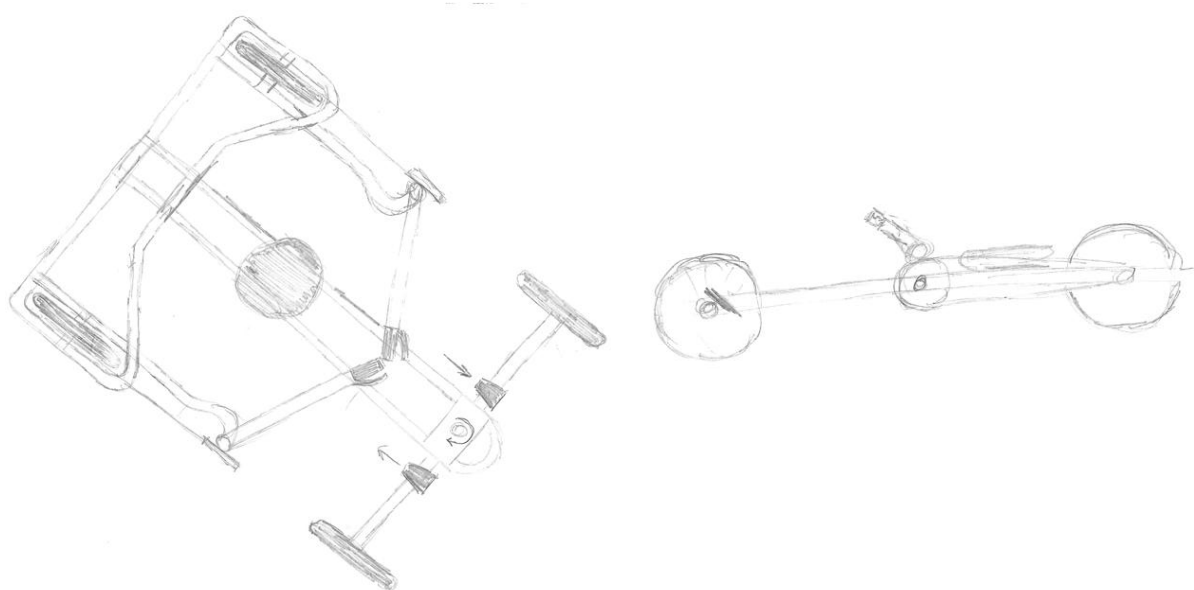
4.4.4 CONCEITO I

O conceito I é referente a um quadriciclo de *chassis* tubular com tração nas rodas traseiras, sendo os remos independentes. Cada remo está acoplado a uma engrenagem cónica, que é responsável pela conversão do movimento rotacional do remo em movimento rotacional da roda pedaleira. O remo é acoplado na roda dentada por junta articulada, permitindo o segundo grau de liberdade do movimento. Cada roda pedaleira está ligada por corrente à roda traseira respetiva.

O banco é deslizante, tal como acontece nas embarcações. O quadro do dispositivo possui carris nos quais rola o banco. Deste modo o banco de remo poderia ser aplicado diretamente na plataforma.

O sistema de direção é controlado pelo movimento das pernas. O utilizador flete a perna do lado interior da curva, estendendo a outra perna. O princípio é idêntico ao guiador de uma bicicleta, sendo que neste caso seria controlado com os pés.

Os esboços referentes à estrutura associada a este conceito, bem como o princípio de funcionamento dos diversos sistemas/componentes, encontram-se ilustrados pela Figura 57.



Estrutura

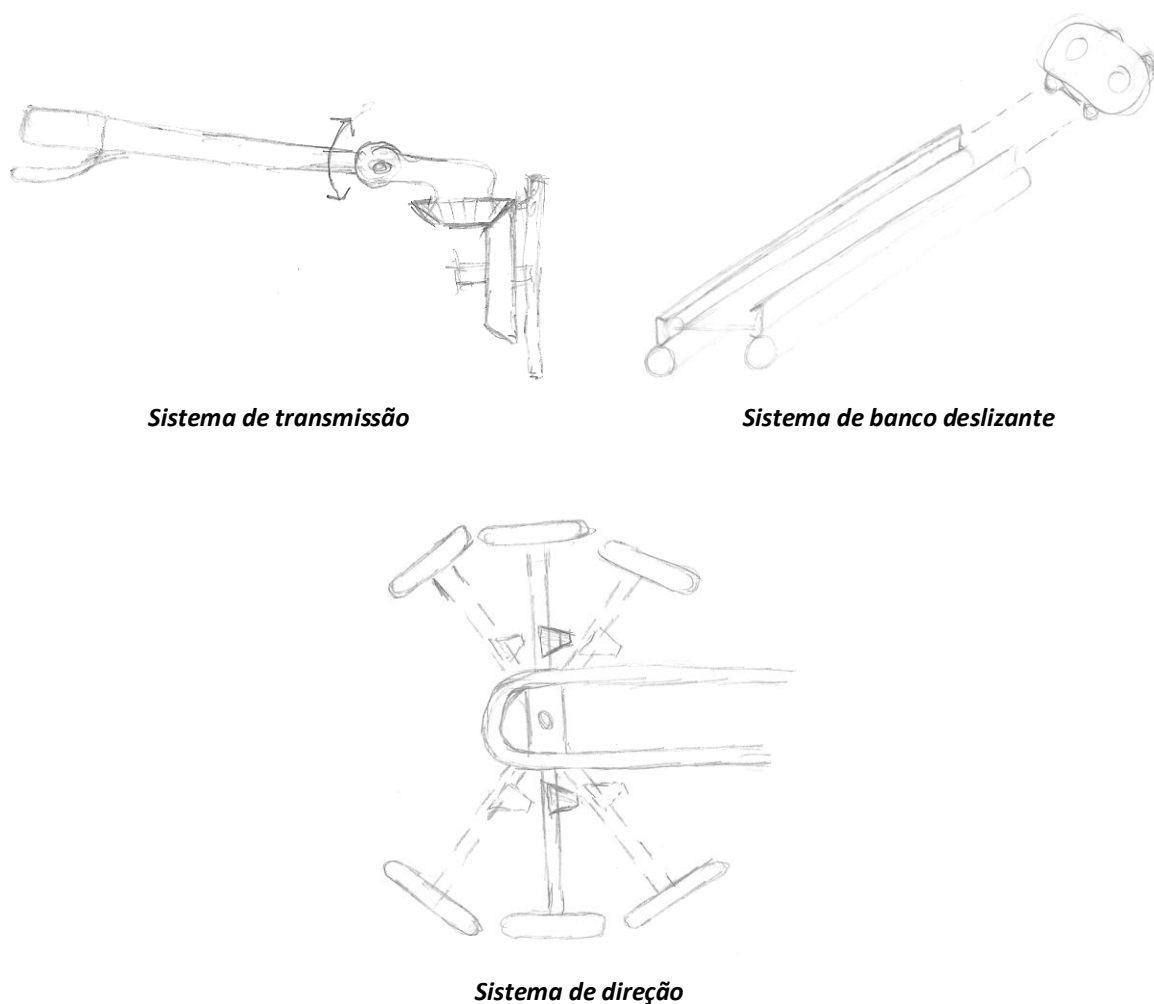
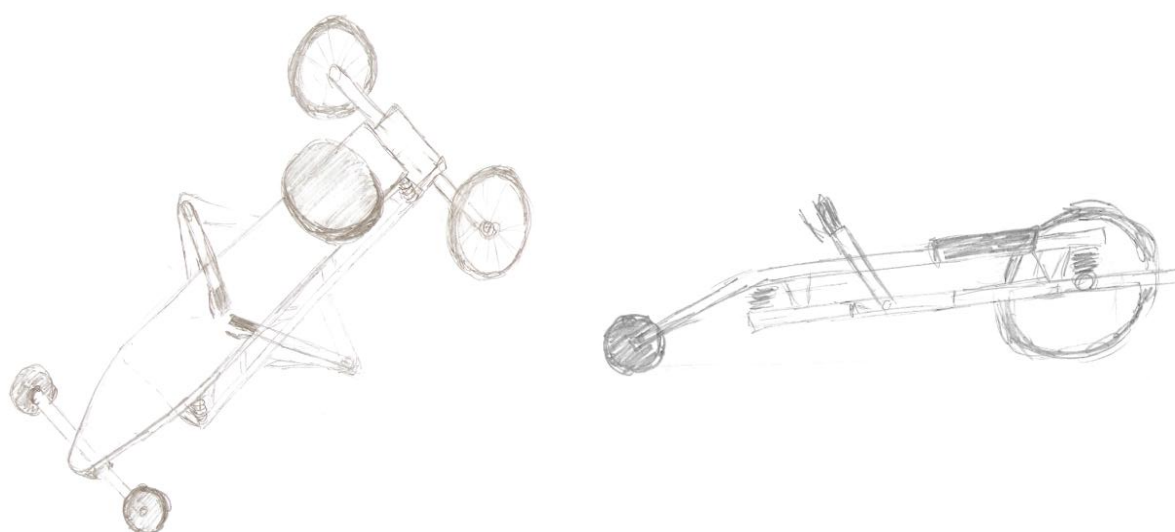


Figura 57 - Conceito I

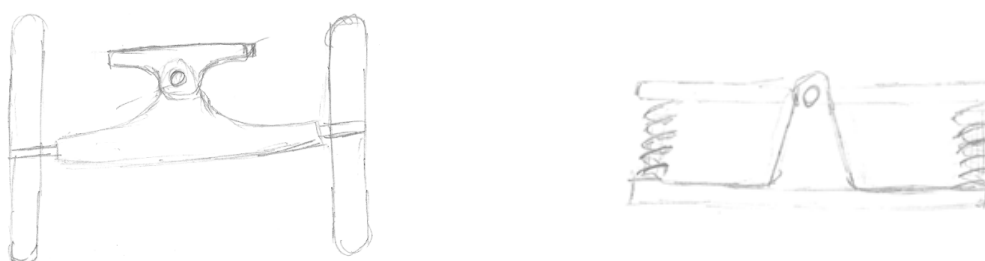
4.4.5 CONCEITO II

Este segundo conceito de plataforma está associado a um triciclo/quadriciclo constituído por *chassis* duplo. O *chassis* base onde estão montadas as rodas traseiras e o sistema de remos (funcionamento igual ao conceito I), e o *chassis* superior onde está acoplado o sistema de banco deslizante e o sistema de direção.

Esta configuração permite que o sistema de direção siga o princípio de viragem de uma prancha de *skate*, no qual o utilizador inclina o corpo no sentido que pretende mudar de trajetória. Para isso o *chassis* superior é acoplado ao *chassis* base através de molas e um veio central, permitindo assim o movimento de inclinação do corpo. Na Figura 58 é esboçado o conceito estrutural da plataforma, e também o princípio de funcionamento do sistema de direção.



Estrutura



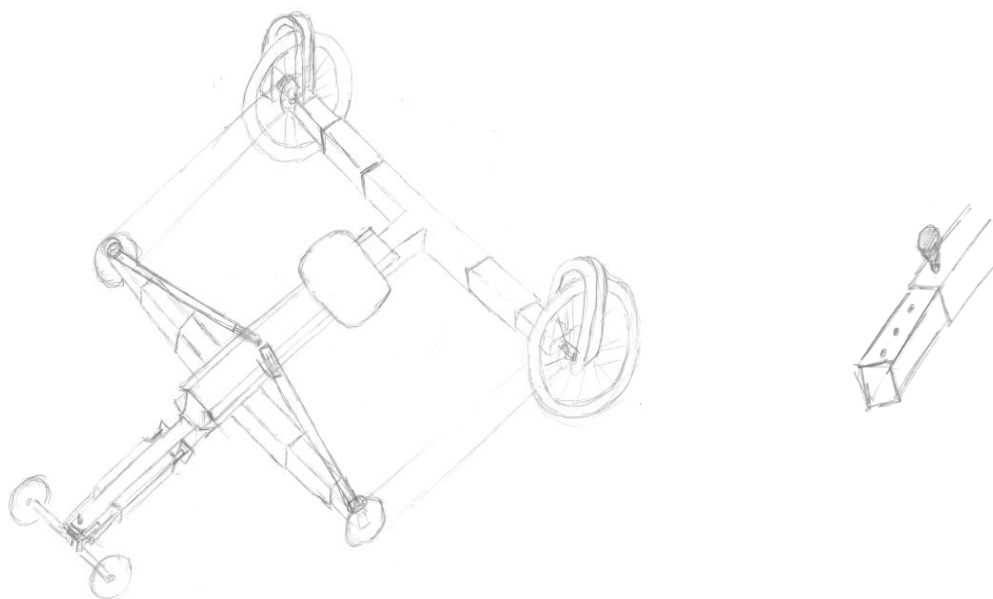
Sistema de direção (tipo skate)

Figura 58 - Conceito II

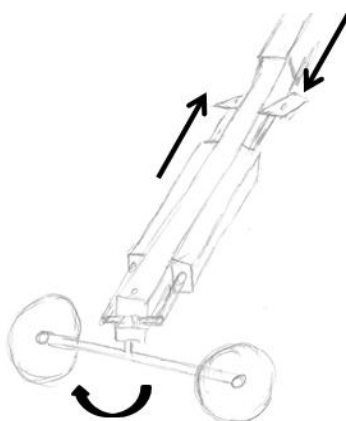
4.4.6 CONCEITO III

O conceito III refere-se a um quadriciclo com estrutura regulável (ver Figura 59). É possível regular o dispositivo quer em largura quer em comprimento, graças à configuração telescópica do *chassis*. Os remos serão também reguláveis em comprimento. O sistema de locomoção é igual ao conceito I.

A direção é controlada por movimento de pernas, estendendo uma perna e fletindo a outra, sendo que não existe torção nas articulações do tornozelo. O movimento efetuado pelos pés é linear.



Estrutura e regulador de posição



Sistema de direção

Figura 59 - Conceito III

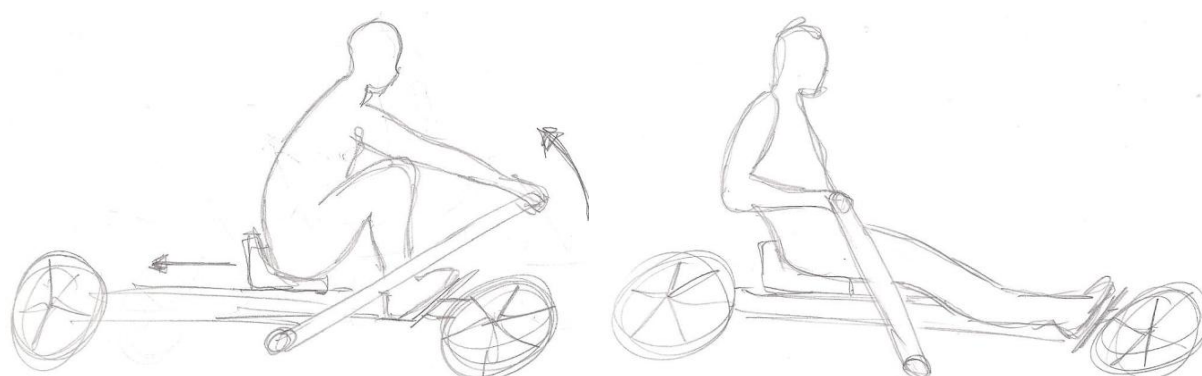
4.4.7 MODO DE LOCOMOÇÃO

Relativamente ao modo de locomoção, este pode ser efetuado através de movimento de pernas e braços ou apenas movimento de braços, como ilustra a Figura 60.

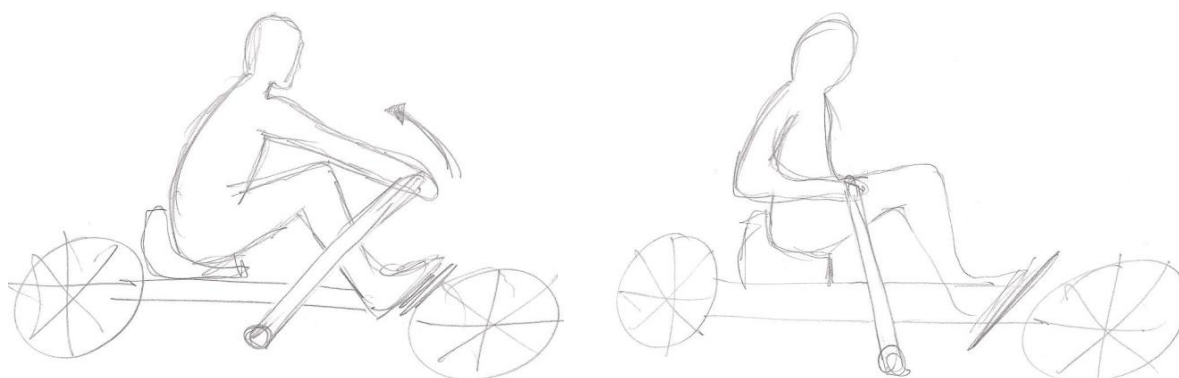
No primeiro, o utilizador realiza movimento de pernas e braços, tal como no remo. O banco desliza livremente sobre os carris. Este modo permite desenvolver um movimento mais completo e fiel em termos de réplica do remo. Este conceito implica uma maior atenção no desenvolvimento

do sistema de direção utilizando os pés como modo de controlo. Isto porque para realizar o movimento completo o utilizador flete e estende pernas e tornozelos, dificultando o controlo da direção.

No segundo modo, o utilizador apenas utiliza os braços no movimento. O banco encontra-se fixo. Esta forma de propulsão permite adaptar a plataforma a um utilizador paraplégico ou com menor capacidade de coordenação motora. Torna-se também mais fácil controlar a direção, pelas razões acima referidas.



Movimento de pernas e braços



Movimento de braços

Figura 60 - Modos de locomoção

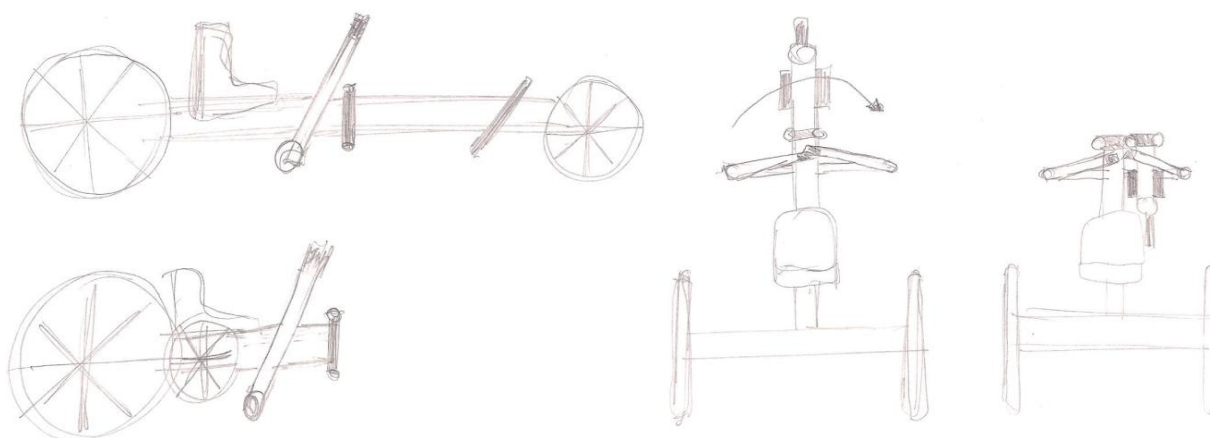
4.4.8 ARRUMAÇÃO/TRANSPORTE

Em termos de conceitos referentes ao modo de arrumação/transporte, são definidos três princípios de funcionamento: dobragem lateral, estrutura retrátil e dobragem vertical. Todos estes conceitos encontram-se ilustrados na Figura 61.

O princípio de dobragem lateral é o mais comumente observado em bicicletas e triciclos dobráveis. O quadro da plataforma possui uma junta dobrável que por abertura/fecho de um aperto rápido, permite dobrar a estrutura lateralmente.

Caso a estrutura possua uma estrutura ajustável em comprimento, permitirá adaptar a plataforma a diversos indivíduos. Por outro lado será possível recolher os vários elementos do triciclo: eixos, remos, forqueta para menor atravancamento. Este conceito é interessante em termos de atravancamento, bem como em adaptação para indivíduos de diferentes estaturas/idades.

No princípio de dobragem vertical, a plataforma possui uma junta dobrável que permite rebater a parte frontal sobre a parte traseira. O banco é desmontado e acomodado separadamente, permitindo reduzir algum espaço em arrumação.



Dobragem lateral

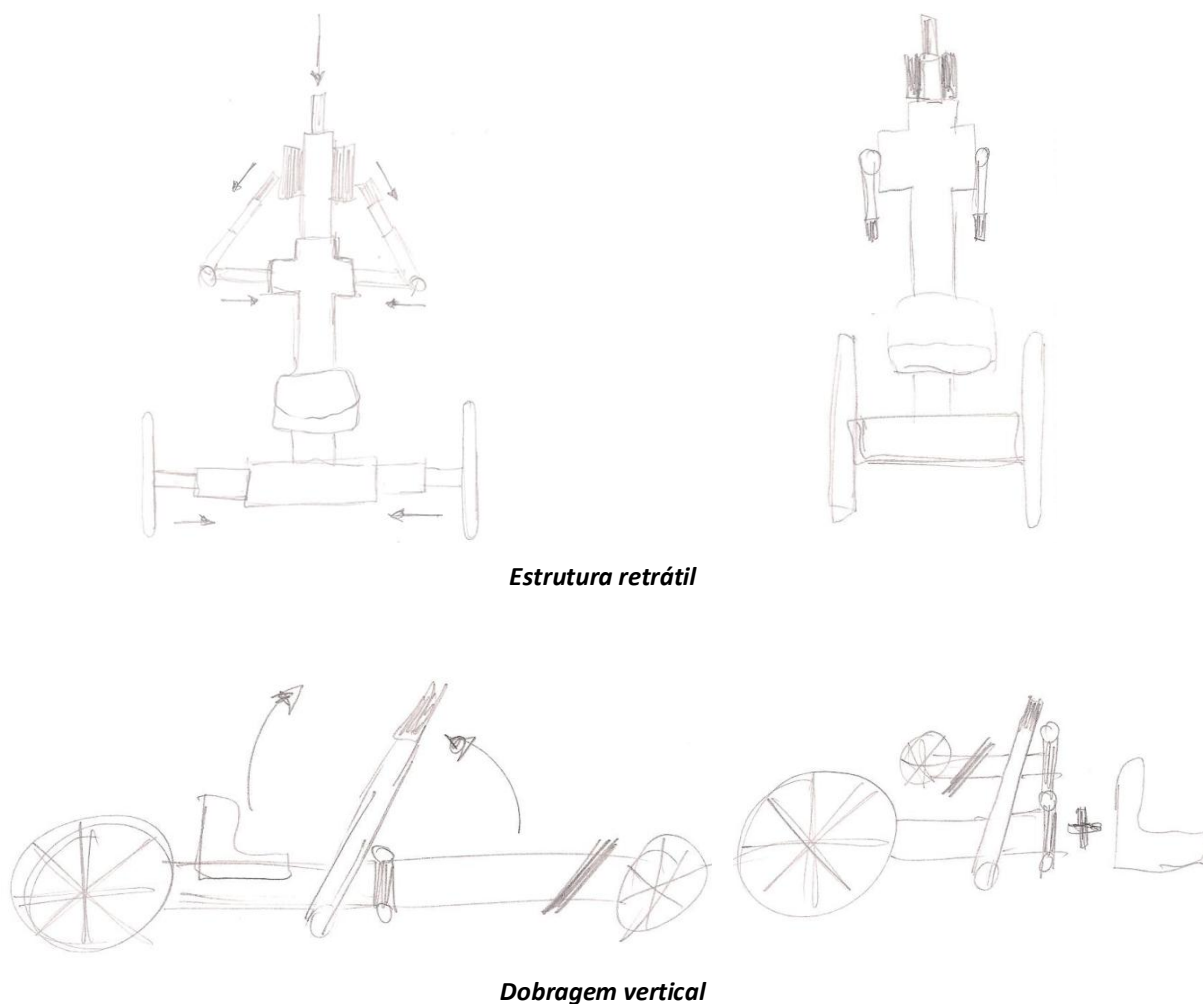


Figura 61 - Conceitos de arrumação/transporte

4.4.9 SOLUÇÕES PARA FUNÇÕES

Nesta tarefa serão pensadas soluções para as diferentes funções da plataforma. Serão referidas as soluções de tração, direção, fixação do banco, dobragem e conforto.

Tração

Dado que é pretendido que o veículo se desloque para a frente, e não para trás como acontece no remo, é necessário inverter o sentido de rotação do movimento de remada, para poder ser transmitido o sentido de rotação certo para as rodas. Deste modo é necessário dimensionar um conjunto de engrenagens que permita este efeito. Este modelo utiliza a configuração de remo idêntica às patentes anteriormente referidas (ver Figura 56).

Será também necessário recorrer a sistema de transmissão por corrente, tal como nos triciclos convencionais. Para garantir maior facilidade de utilização, o eixo traseiro possuirá diferencial. Deste modo garante-se por um lado a direção retilínea do movimento, e por outro maior estabilidade em curvas. Por questões de variação do nível de força e velocidade, será necessário possuir cassete de velocidades no eixo traseiro, acoplada no diferencial.

A Figura 62 contém os esboços referentes aos princípios de funcionamento acima referidos.

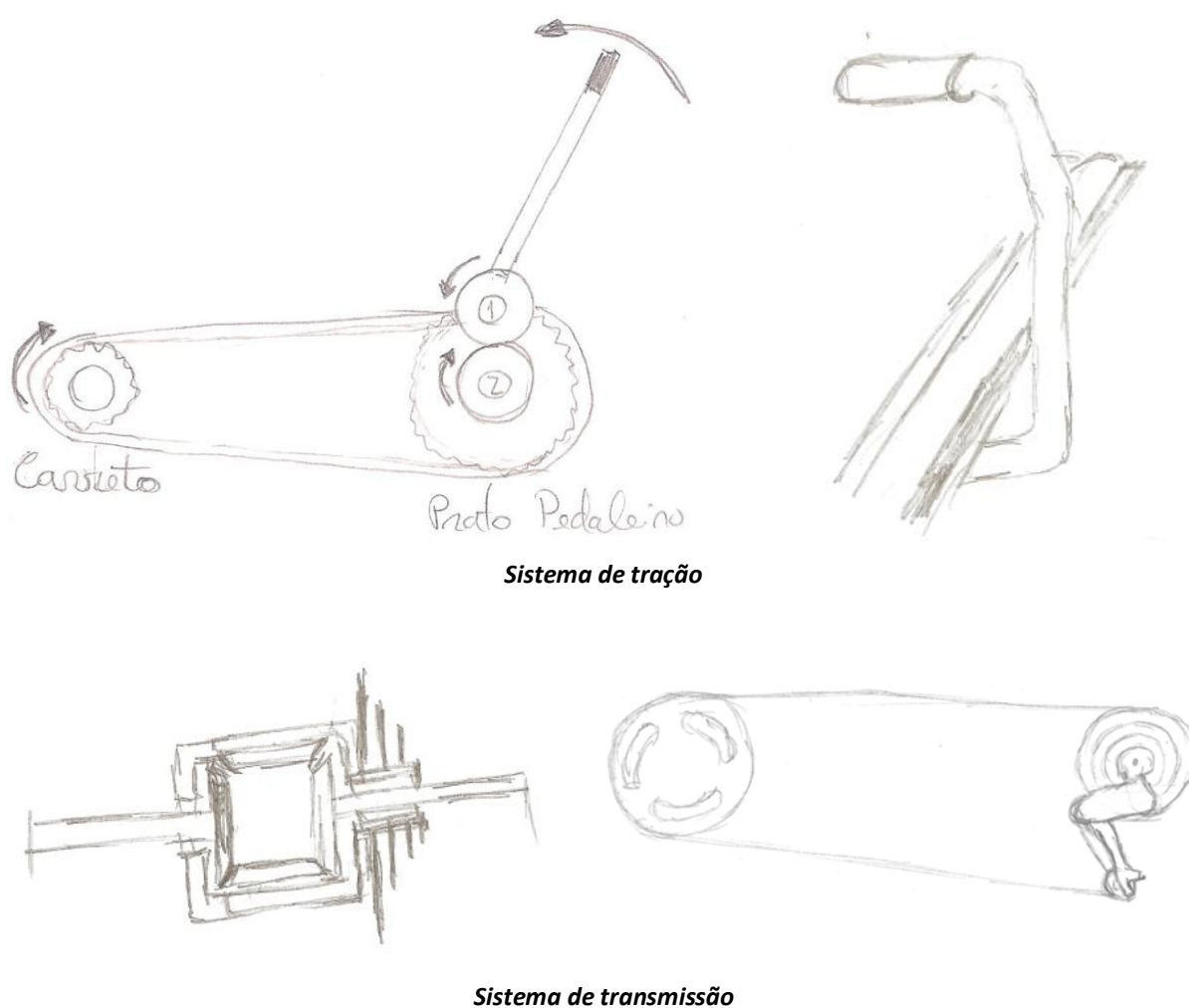


Figura 62 - Soluções de tração e transmissão

Direção

O sistema de direção é dos aspetos mais sensíveis na conceção do produto. Dada a natureza do movimento de remada, anteriormente analisado, conciliar o movimento dos pés com o controlo da direção é um processo complexo. Nas embarcações a mudança de direção é feita através de movimento angular do pé direito ilustrado na Figura 63.

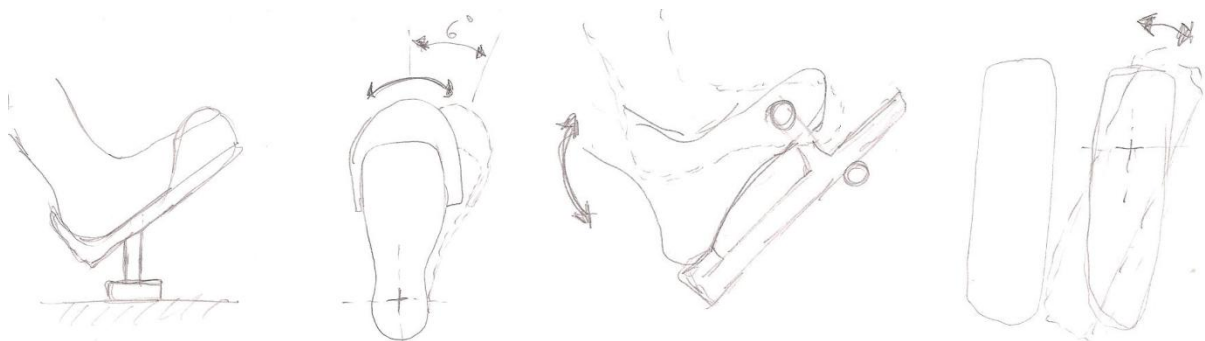
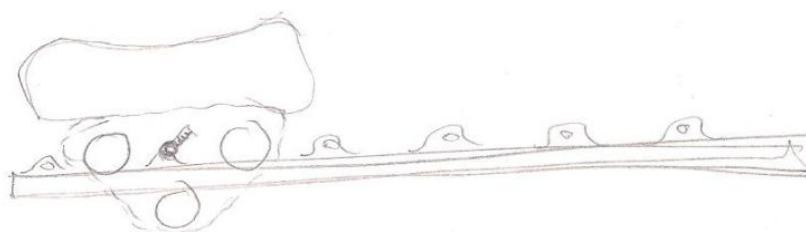


Figura 63 - Soluções de direção

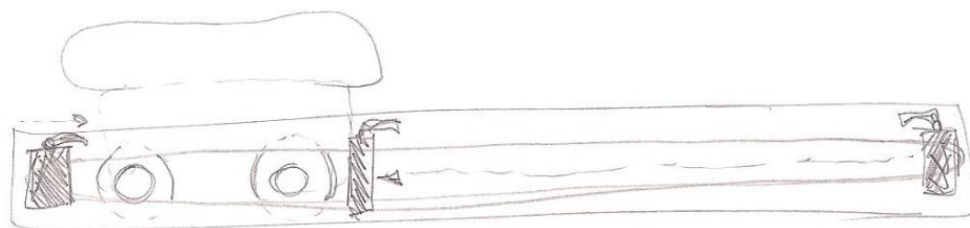
Fixação do banco e dobragem

Para garantir versatilidade da plataforma, será necessário que o utilizador possa optar por remar com banco fixo ou deslizante, bem como proceder facilmente à arrumação do triciclo. As duas figuras que se seguem referem duas soluções de fixação. Na primeira o *chassis* possui uma série de olhais nos quais o banco é fixo por aperto rápido. Na segunda os fins de curso do carril são reguláveis permitindo combinar as duas funções de batente e fixador do banco.

Ambas soluções são ilustradas na Figura 64.



Solução I



Solução II

Figura 64 - Soluções de fixação do banco

A dobragem do *chassis* é assegurada por uma junta dobrada juntamente com um aperto rápido, como ilustra a Figura 65.

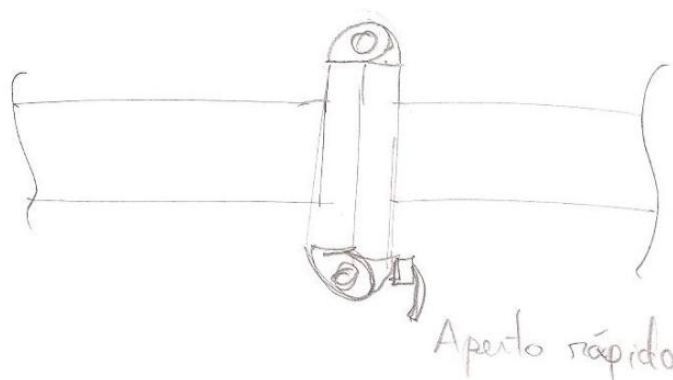


Figura 65 - Solução de dobragem

Conforto

A nível de posto de utilizador, será possível aplicar um banco de remo, bem como um banco com envolvente. Para uma melhor réplica do movimento de remada o banco não deve possuir apoio de costas, porque da análise biomecânica do movimento verifica-se a extensão do tronco no final do movimento. Por outro lado, é necessário um banco envolvente no caso de utilizadores com maior dificuldade física, tanto por questões de conforto, bem como por questões de segurança. Isto porque contrariamente ao que acontece na realidade do remo, onde o movimento é realizado em meio aquático, a utilização da plataforma em terra levanta a questão de piso acidentado e irregularidade do piso. Assim sendo o banco envolvente é uma melhor opção.

A Figura 66 ilustra ambos os tipos de banco.



Figura 66 - Soluções de posto de utilizador

A nível de suspensão, é possível aplicar o sistema de amortecimento na forqueta, utilizado nas bicicletas de BTT, bem como o sistema utilizado nas cadeiras de rodas. Este sistema denominado de *frog legs* (em português *pernas de rã*), veio revolucionar as suspensões de cadeiras de rodas com rodas maciças, visto reduzir grande parte das vibrações, aproximando o desempenho das rodas com pneus. Na Figura 67 é possível visualizar uma representação dos dois tipos de sistema de suspensão.



Figura 67 - Soluções de suspensão

4.4.10 COMBINAÇÃO DE CONCEITOS

Após gerar conceitos, criar o diagrama de funções do produto e esquematizar a árvore de classificação de conceitos, é necessário combinar estes mesmos conceitos para poder efetuar a seleção das melhores opções.

Dado que neste projeto é possível combinar qualquer conceito dos diversos módulos do produto, apenas se representa o diagrama com os conceitos de cada módulo, sendo possível uma

qualquer combinação, selecionando um conceito de cada módulo. Isto porque os conceitos são independentes em cada módulo, como ilustra a Figura 68.

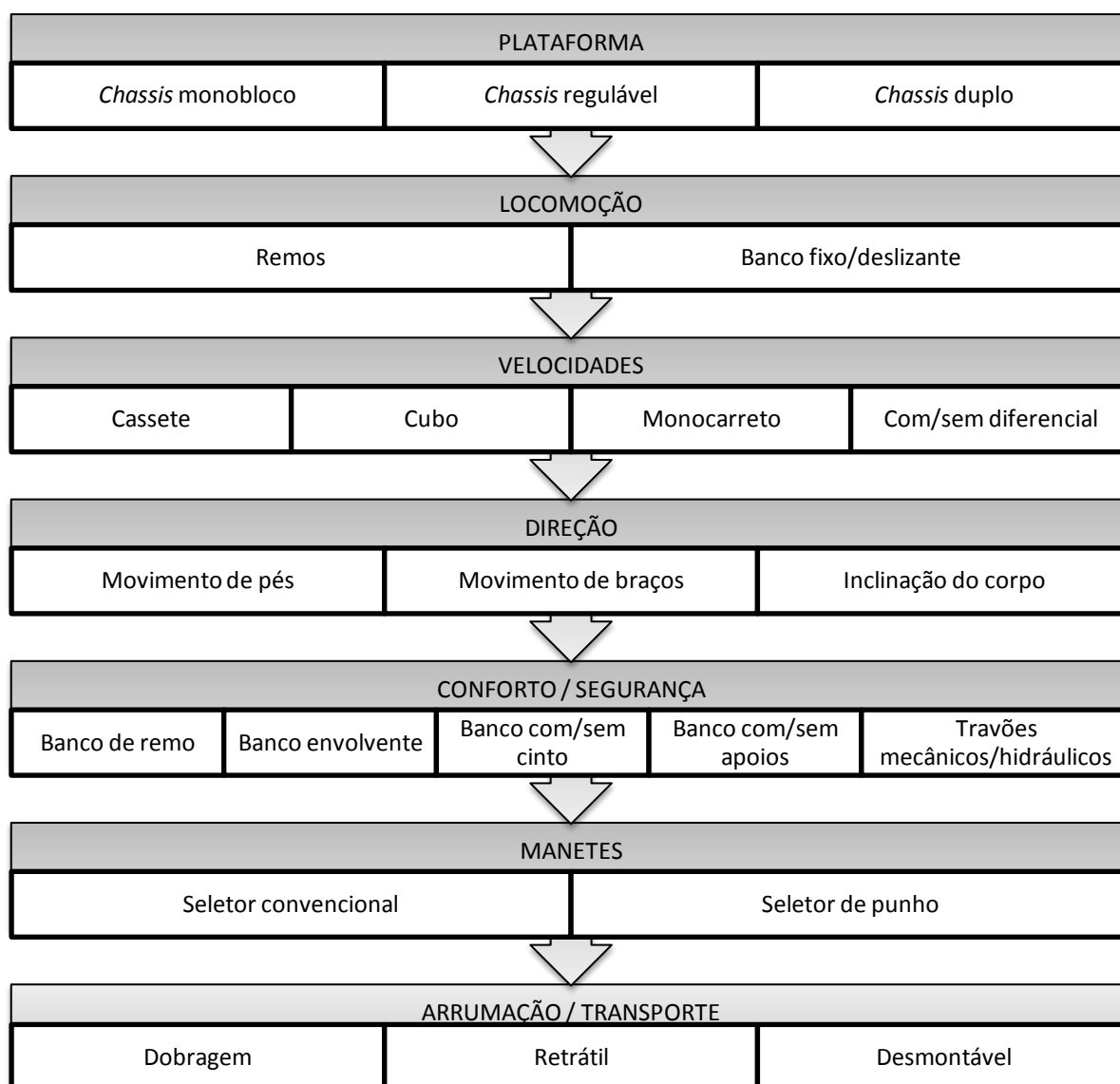


Figura 68 - Combinação de conceitos

4.4.11 SELEÇÃO DE CONCEITOS

Após a geração e combinação de todos os conceitos, é necessário selecionar os conceitos a abandonar, os conceitos que continuam no projeto mas com necessidade de melhoria e aqueles que sem dúvida que irão continuar no projeto. Para este efeito são geradas matrizes de seleção de

conceitos. Neste projeto foram elaboradas matrizes de seleção correspondentes a diferentes grupos estruturais para o produto.

A Tabela 14 representa a matriz de seleção da estrutura principal da plataforma. Foram consideradas as hipóteses de estrutura monobloco, estrutura regulável ou estrutura dupla.

Tabela 14 - Matriz seleção de conceitos de plataforma

Estrutura da plataforma			
Critério de seleção	<i>Chassis monobloco</i>	<i>Chassis regulável</i>	<i>Chassis duplo</i>
Facilidade de arrumação	0	+	-
Peso	0	-	-
Facilidade produção	0	-	-
Durabilidade	0	-	0
Fiabilidade	0	-	0
Custo	0	-	-
Soma +	0	1	0
Soma -	0	-5	-4
Pontuação	0	-4	-4
Ranking	1	2	2
Continua?	Sim	Melhorar	Melhorar

Relativamente ao posto do utilizador, este pode ser deslizante (como na modalidade do remo) ou então fixo, como refere a Tabela 15.

Tabela 15 - Matriz seleção de conceitos de posição do banco

Banco - Posição		
Critério de seleção	Fixo	Deslizante
Versatilidade	0	+
Facilidade de uso	0	-
Peso	0	0
Facilidade de implementação	0	-
Nível de réplica	0	+
Soma +	0	2
Soma -	0	-2
Pontuação	0	0
Ranking	1	1
Continua?	Sim	Sim

No aspeto de conforto do banco, a sua estrutura pode ser idêntica à do banco de remo, pode assumir a forma de selim ou então de um banco com envolvente de ancas e zona lombar (ver Tabela 16).

Tabela 16 - Matriz seleção de conceitos de configuração do banco

Banco - Conforto			
Critério de seleção	Remo	Selim	Envolvente
Ergonomia	+	0	+
Conforto	0	0	+
Durabilidade	+	0	+
Soma +	2	0	3
Soma -	0	0	0
Pontuação	2	0	3
Ranking	2	3	1
Continua?	Adaptar	Não	Sim

A Tabela 17 refere-se à matriz de seleção de conceitos relativamente às velocidades do dispositivo. Sendo que este pode possuir apenas um carreto (uma velocidade), uma cassette de velocidades, ou então mudanças internas no cubo da roda.

Tabela 17 - Matriz seleção de conceitos de velocidades

Velocidades			
Critério de seleção	Mono velocidade	Cassete	Cubo
Peso	0	-	-
Eficiência	0	+	+
Facilidade de implementação	0	0	0
Fiabilidade	0	0	+
Versatilidade	0	+	-
Custo	0	0	-
Soma +	0	2	2
Soma -	0	-1	-3
Pontuação	0	0	0
Ranking	2	1	3
Continua?	Adaptar	Sim	Não

Relativamente ao sistema de tração, o eixo traseiro pode conter ou não diferencial, bem como pode ser constituído por dois semieixos independentes, tal como é visível na Tabela 18.

Tabela 18 - Matriz seleção de conceitos de eixo traseiro

Sistema de eixos			
Critério de seleção	Eixo sem diferencial	Eixo com diferencial	Eixos independentes
Desempenho	0	+	+
Versatilidade	0	+	+
Peso	0	0	-
Soma +	0	2	2
Soma -	0	0	-1
Pontuação	0	2	1
Ranking	3	1	2
Continua?	Não	Sim	Melhorar

Relativamente aos conceitos gerados para o sistema de direção, a Tabela 19 mostra a comparação entre os vários conceitos nos diferentes critérios de seleção.

Tabela 19 - Matriz seleção de conceitos de sistema de direção

Sistema de direção				
Critério de seleção	Inclinação do corpo	Movimento de pés	Movimento de mãos	Estilo cadeira de rodas
Eficácia	-	0	-	0
Facilidade de implementação	-	0	-	+
Ergonomia	0	0	0	0
Nível de destreza	-	0	0	0
Soma +	0	0	0	1
Soma -	-3	0	-2	0
Pontuação	-3	0	-2	1
Ranking	4	2	3	1
Continua?	Não	Melhorar	Não	Sim

Relativamente ao sistema de travagem, os métodos mais comuns referem-se a travões *V-Brake*, ou então de disco acionados mecânica ou hidráulicamente (ver Tabela 20).

Tabela 20 - Matriz seleção de conceitos de sistema de travagem

Sistema de travagem			
Critério de seleção	<i>V-Brake</i>	Hidráulico	Mecânico
Eficiência	0	+	+
Fiabilidade	0	+	+
Durabilidade	0	+	+
Facilidade de implementação	0	0	+
Soma +	0	3	4
Soma -	0	0	0
Pontuação	0	3	4
Ranking	3	2	1
Continua?	Não	Adaptar	Sim

A Tabela 21 refere-se à matriz de seleção do modo de acionamento do seletor de velocidades, que pode ser através de rotação do punho ou movimento de dedo, ambos comumente aplicados em bicicletas.

Tabela 21 - Matriz seleção de conceitos de seletor de velocidades

Seletor de velocidades		
Critério de seleção	Rotação do punho	Movimento de dedo
Facilidade de utilização	-	0
Eficiência	-	0
Durabilidade	0	0
Facilidade de implementação	0	0
Soma +	0	0
Soma -	-2	0
Pontuação	-2	0
Ranking	2	1
Continua?	Adaptar	Sim

Em termos de arrumação e transporte, a Tabela 22 compara os conceitos de estrutura dobrável, retrátil ou então desmontável.

Tabela 22 - Matriz seleção de conceitos de arrumação/transporte

Modo de Arrumação/transporte			
Critério de seleção	Dobrável	Retrátil	Desmontável
Facilidade de arrumação	+	+	0
Peso	-	-	0
Facilidade produção	-	-	0
Durabilidade	+	+	0
Fiabilidade	+	0	0
Custo	-	-	0
Facilidade de utilização	+	-	0
Soma +	4	2	0
Soma -	-3	-3	0
Pontuação	1	-1	0
Ranking	1	3	2
Continua?	Sim	Adaptar	Adaptar

A matriz de seleção da configuração dos remos, Tabela 23, refere-se à possibilidade de estes assumirem o formato convencional, compacto ou então barra única.

Tabela 23 - Matriz seleção de conceitos de remos

Estrutura dos Remos			
Critério de seleção	Tradicional	Compacto	Barra única
Dimensões	0	+	+
Facilidade de uso	0	+	+
Peso	0	+	+
Facilidade de implementação	0	+	+
Nível de réplica	0	0	-
Soma +	0	4	4
Soma -	0	0	-1
Pontuação	0	4	3
Ranking	3	1	2
Continua?	Melhorar	Sim	Melhorar

Para melhor compreensão dos conceitos apresentados na Tabela 23 ver as imagens dos produtos anteriormente analisados:



Figura 69 - Conceitos de remos

4.4.12 TESTE DE CONCEITOS

De acordo com Limberg, 2008, o teste de conceitos baseia-se nos dados reunidos diretamente de potenciais clientes e aponta para uma diminuição da mera confiança nas ideias da equipa de desenvolvimento. Pode ser definido como um processo que tem por base um conjunto de técnicas de pesquisa de mercado de *marketing*, de forma a aceder a conceitos de mercado, com o objetivo de proporcionar *feedback* antecipado do mercado. A reação do cliente ao nível das ideias concetuais vai fazer toda a diferença no projeto pois vai ser a partir deste ponto que o projeto irá seguir numa direção mais específica de encontro ao cliente e às suas necessidades e exigências.

A apresentação dos conceitos selecionados foi realizada em duas fases. Estes foram primeiramente apresentados, através de esboços, aos colegas de turma no âmbito da cadeira de Projeto e Engenharia de Produto. Retiram-se as seguintes conclusões da apresentação:

- O *chassis* deverá ser de um perfil com possibilidade de dobragem
- A direção deve ser controlada por movimento de pés
- Os remos devem ser o mais compactos possível
- As rodas deverão ser de aro e raios
- A transmissão deve ser assegurada por corrente
- O eixo deve incluir diferencial
- Os travões devem ser de disco
- O seletor de velocidades é operado por movimento dos dedos e não por rotação do pulso
- O banco deve ter apoio de costas

- Os punhos devem ser em espuma
- As velocidades podem ser em cassete ou dentro do cubo

Posteriormente foram apresentados ao clube de remo "Os Galitos" os mesmos conceitos, tendo sido obtidos os pareceres:

- Os remos devem operar independentemente
- Deverá ser possível transportar o produto facilmente na bagageira de um automóvel
- A direção não deverá ser controlada por flexão/dorsiflexão do tornozelo
- O banco deverá ser deslizante

4.4.13 ESTIMATIVA DE VENDAS

De acordo com Ulrich e Eppinger, 2008, a estimativa de vendas é feita através da equação 4.1 que relaciona o número de potenciais clientes, com o número de potenciais compradores e a probabilidade de o produto ser comprado se estiver disponível e o consumidor estiver informado:

$$Q = N \times A \times P \quad (4.1)$$

- Q – Quantidade a esperar ser vendida.
- N – Número de potenciais clientes esperados fazerem compras durante o período de tempo em que o produto estará disponível.
- A – Fração dos potenciais compradores para os quais o produto estará disponível.
- P – É a probabilidade de o produto ser comprado se disponível e o consumidor estiver informado, e é obtido pela equação 4.2:

$$P = (C_{def} \times F_{def}) + (C_{prob} \times F_{prob}) \quad (4.2)$$

- F_{def} - Fração de respostas que indicaram que se o produto estivesse disponível o *compravam definitivamente*.
- F_{prob} - Fração de respostas que indicaram que se o produto estivesse disponível o *provavelmente o compravam*.

- C_{def} e C_{prob} – Coeficientes de calibração da empresa baseados em produtos similares no passado, assumindo normalmente os seguintes intervalos (Ulrich e Eppinger, 2008):

$$0,1 < C_{def} < 0,5, \text{ sendo usual } C_{def} = 0,4 \quad (4.3)$$

$$0 < C_{prob} < 0,25, \text{ sendo usual } C_{prob} = 0,2 \quad (4.4)$$

Foram então definidos os parâmetros:

- $A = 0.25$
- $C_{def} = 0.4$
- $C_{prob} = 0.2$
- $F_{def} = 0.05$
- $F_{prob} = 0.2$

O valor N foi definido segundo dados de estudos de mercado de bicicletas a nível europeu. As estatísticas indicam que em Portugal se venderam 330.000 bicicletas em 2010 (Bike Europe, 2011). Assumiu-se que 5% destas bicicletas eram triciclos. Assim, definiu-se $N=16500$. A estimativa de vendas é então:

$$Q = 16500 \times 0,25 \times [(0,4 \times 0,2)] + [(0,2 \times 0,05)] = 371 \text{ unidades/ano} \quad (4.5)$$

Este valor corresponde sensivelmente a 3 unidades vendidas a cada 2 dias, sendo um valor aceitável dado ser um produto novo e para competir num mercado ainda restrito, dado que as bicicletas são vendidas em muito maior quantidade do que triciclos convencionais e/ou de propulsão manual.

4.5 ARQUITETURA DA PLATAFORMA

Segundo Marti, 2007, a arquitetura do produto é definida pela forma como os vários elementos físicos funcionais vão estar organizados no produto. Os elementos físicos estão organizados em conjuntos que por sua vez são compostos por vários componentes. São estes componentes que vão implementar as funcionalidades do produto. Nesta tarefa serão definidos os

vários módulos que irão ser integrados no dispositivo, bem como será definido um plano de diferenciação para as várias vertentes do produto.

4.5.1 Módulos

Para Klemmer, 2007, a arquitetura modular de produtos delega componentes específicos para assumir funções únicas, por meio de que as interfaces determinem as suas interações. Produtos modulares demonstram definições de interfaces amplas mas estandardizadas. Isto permite uma maior flexibilidade de *design*, uma vez que podem ser feitas alterações sem comprometer a funcionalidade do produto geral.

Segundo Hesselbach e Hermann, 2011, os produtos modulares tornam possível a valorização de materiais através da diferenciação de módulos que são potencialmente recicláveis e que não são recuperáveis. Uma decomposição modular é um meio para otimizar a desmontagem e obter mais lucros em aspetos económicos e ambientais. A remanufatura torna possível a reutilização de produtos ou módulos em vários ciclos, de acordo com os requisitos do consumidor ou evolução do mercado.

A plataforma a desenvolver possuirá uma estrutura modular, sendo que cada módulo corresponde a um sistema de funcionamento diferente.

Neste caso em concreto, a arquitetura do produto é definida pelos seguintes módulos:

- Chassis dobrável
- Sistema de transmissão
- Sistema de locomoção
- Sistema de pneumáticos
- Posto do utilizador
- Sistema de travagem
- Sistema de direção
- Conforto
- Acessórios

A Figura 70 representa a esquematização da arquitetura do produto e os respetivos módulos.

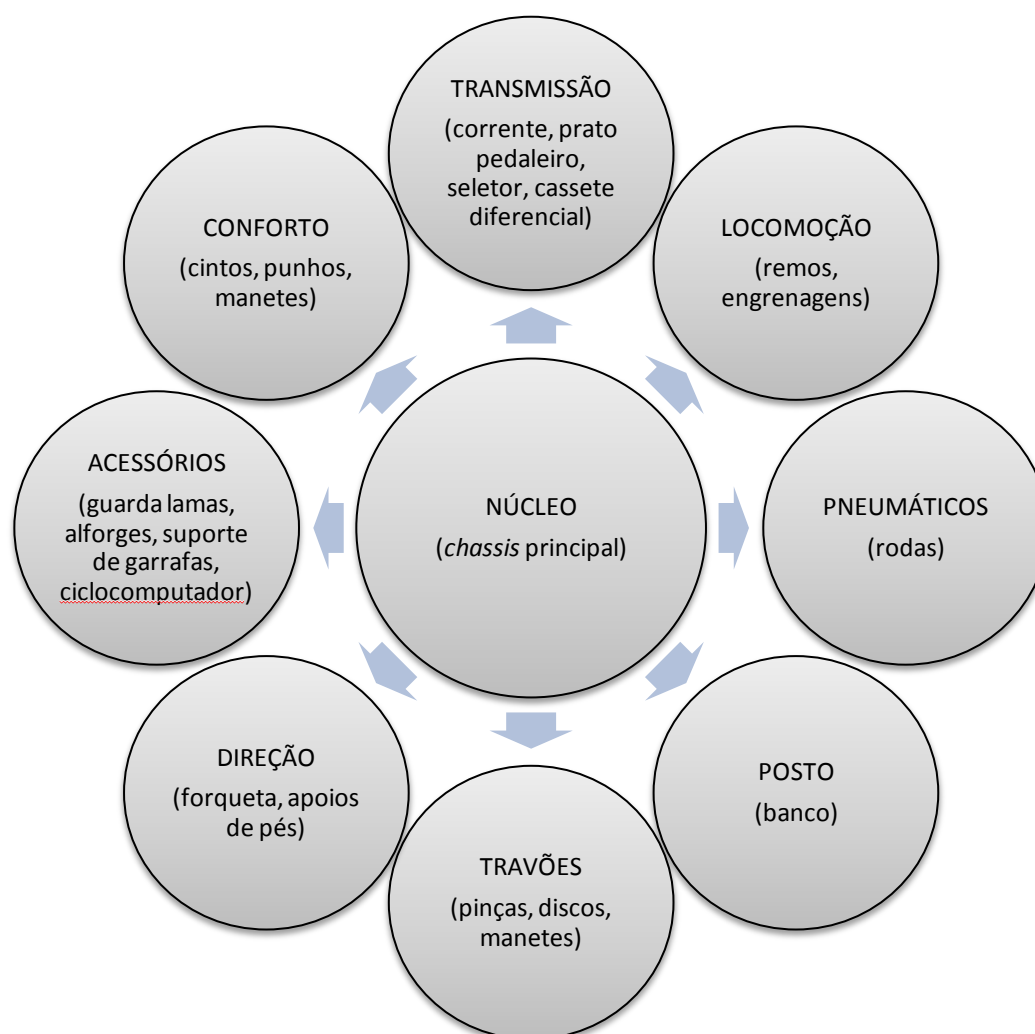


Figura 70 - Arquitetura do produto

4.5.2 PLANO DE DIFERENCIAÇÃO

Para Ferrel e Hartline, 2011, a diferenciação do produto consiste na possibilidade de oferecer ao cliente variantes de um determinado produto base. Esta variação das características do produto pode ser realizada logo no momento da fabricação ou então já ao nível de entrega ao cliente.

No presente projeto surgem vários aspetos no processo de diferenciação a ter em conta:

- O produto central a desenvolver assume o papel de base estrutural para todos os outros diferenciados;

Nesta perspetiva, o *chassis* do dispositivo é base para todos os segmentos.

- Os componentes permanecem maioritariamente nas várias modalidades do produto;
Os módulos de transmissão, direção, travagem, rodas e posto do utilizador permanecem nas várias vertentes do produto.

- É possível produzir o produto em vários segmentos, bem como é possível diferenciação já na fase final de fabricação.

Os módulos acima referidos permanecem, surgindo a possibilidade de escolher as características mais marcantes de cada componente. Por exemplo, no caso do sistema de travagem, o cliente pode optar por travões mecânicos ou hidráulicos, bem como o tipo de manetes, sem alterar a estrutura do produto, apenas mudando o tipo de componente.

Para o produto em desenvolvimento são pensadas quatro vertentes na fase de fabricação:

1. Veículo de mobilidade urbana
2. Veículo apenas para paraplégicos
3. Veículo para crianças
4. Veículo para competição

No âmbito desta dissertação apenas será desenvolvida completamente a modalidade 1, visto ser a que se enquadra no âmbito da proposta.

Seguidamente serão referidas as filosofias que deverão ser aplicadas no caso dos outros três segmentos.

Veículo apenas para paraplégicos

Este segmento da plataforma deve incluir os princípios aplicados na modalidade de remo adaptado. Deste modo, o banco deverá estar fixo e o utilizador seguro por cintos de segurança. A direção seguirá o funcionamento característico das cadeiras de rodas: as rodas dianteiras rodarão livremente 360°, e a mudança de direção é possível fazendo com que a roda do lado interior da curva gire menos do que a roda do lado exterior. Os apoios de pés deverão possuir apoio para a

zona dos gémeos e o banco possuirá envolvente para estabilizar o utilizador, visto que o piso pode ser acidentado e o próprio movimento de braços pode provocar desequilíbrios.

Veículo para crianças

Este formato do produto deve possuir rodas de menor diâmetro, remos mais curtos, e a direção seguiria o princípio dos triciclos para crianças, onde esta é controlada por movimento dos pés no próprio eixo dianteiro. O banco deve ser também mais pequeno e com envolvente. A cassette de velocidades e diferencial nesta situação pode ser substituída por eixo inteiriço com apenas uma velocidade.

Veículo para competição

Na vertente desportiva o dispositivo seria significativamente mais caro. Isto porque recorreria a materiais mais leves e resistentes e rodas de maior diâmetro. Adicionalmente, o curso do carril deveria ser maior e a direção mais precisa e com menor ângulo de viragem. As rodas traseiras deveriam possuir inclinação para maior estabilidade, e a relação de transmissão deveria ser alterada de modo a tirar maior partido do movimento e provocar maior nível de exigência física. Esta vertente poderia no limite ser adaptada para indivíduos paraplégicos.

4.6 DESIGN INDUSTRIAL

Design do produto é o desenvolvimento de novas ideias para tornar os produtos mais fáceis de usar, mais apelativos esteticamente e mais eficientes de fabricar (Hannah, 2004).

Por forma a garantir o sucesso do produto no mercado, este deve conciliar de forma harmoniosa as necessidades ergonómicas e estéticas do produto. Deste modo, há que estudar quais as melhores soluções para a interface com o utilizador, quais os aspetos de estética possíveis de melhorar para tornar o produto mais agradável, de que modo é possível facilitar operações de manutenção e reparação, como baixar o custo total de fabrico por forma a obter maior lucro, e por fim como transmitir o conceito do projeto através da imagem do produto.

Segurança

A segurança do utilizador é a necessidade que mais vezes surgiu nos inquiridos deste projeto. Desta forma, será necessário analisar de forma adequada este aspeto. Será necessário desenvolver uma plataforma resistente e ao mesmo tempo adicionar soluções de segurança como

envolvente do banco e cintos de segurança. O fato de o dispositivo possuir três rodas ajuda na prevenção da queda do utilizador.

Facilidade utilização

A facilidade de utilização está também no topo das estatísticas das necessidades. Assim, tentando replicar o mais fielmente possível o movimento de remada, é também necessário pensar em soluções de interface com o utilizador que sejam intuitivas. Deste modo, tentar incorporar toda a mecânica atualmente presente em bicicletas irá tornar a plataforma mais amigável do utilizador.

Estética

No plano visual, um bom desenvolvimento estético irá auxiliar na venda do dispositivo. Por outro lado, manter a estrutura não muito complexa irá evitar subida do custo de fabrico. Este equilíbrio aspeto/custo é difícil de encontrar. Assim, oferecer uma variada linha de opções em termos de cores, acessórios e personalização irá fortalecer o argumento de venda do produto.

Medidas do posto de utilizador

Como linha orientadora para as necessidades dimensionais dos elementos funcionais da plataforma foram tomados os valores utilizados pelas construtoras de embarcações a remos. Estes valores são a distância medida entre a fixação dos pés e a forqueta onde se encaixam os remos, o curso do banco deslizante, o ângulo dos apoios de pés e o ângulo entre o carril e o plano horizontal. A Figura 71 ilustra as medidas (Kleshnev, 2006).

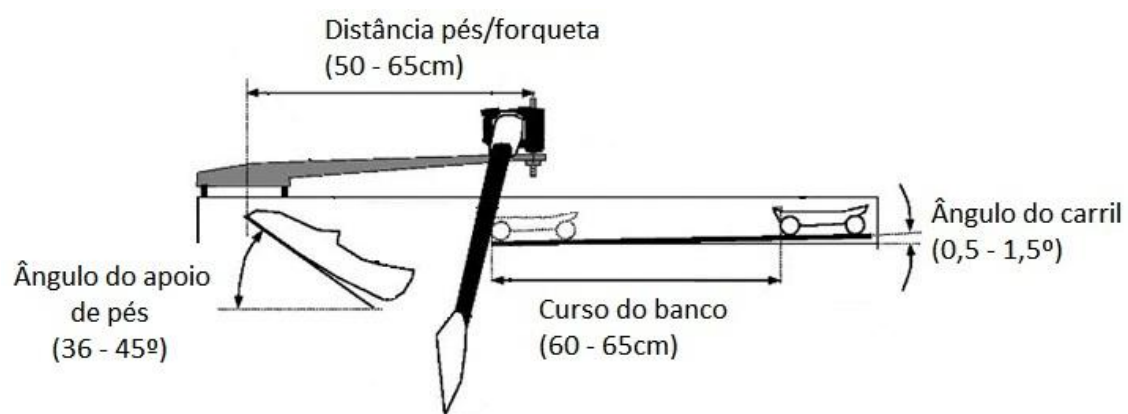


Figura 71 - Medidas do posto do utilizador

[fonte: imagem adaptada de Kleshnev, 2006]

Componentes standardizados

É vantajoso, sempre que possível, optar por componentes já existentes no mercado ao invés de fabricá-los. Isto porque diminui os custos de fabrico, possibilita a exploração da modularidade do produto, torna muito mais fácil e barata a manutenção/substituição de componentes. Por outro lado, recorrendo a componentes comumente utilizados, o interface com o utilizador será muito mais intuitivo, dado que este já conhece os componentes e como funcionam.

Primeiro protótipo visual

Uma das formas acessíveis de comunicar um conceito de produto é através de protótipos/esboços. Nesta altura do projeto é já elaborado um protótipo virtual do dispositivo, representado na Figura 72.



Figura 72 - Primeiro protótipo visual

No protótipo inicial é possível também realizar a simulação do movimento de remada aplicado ao dispositivo (ver Figura 73). Esta simulação é realizada nesta fase dado que as alterações realizadas no produto estarão relacionadas com o aspeto visual do produto e melhoramento dos vários sistemas do conjunto. Deste modo o movimento permanecerá inalterado. O movimento já analisado no capítulo da biomecânica é então replicado na plataforma do seguinte modo:

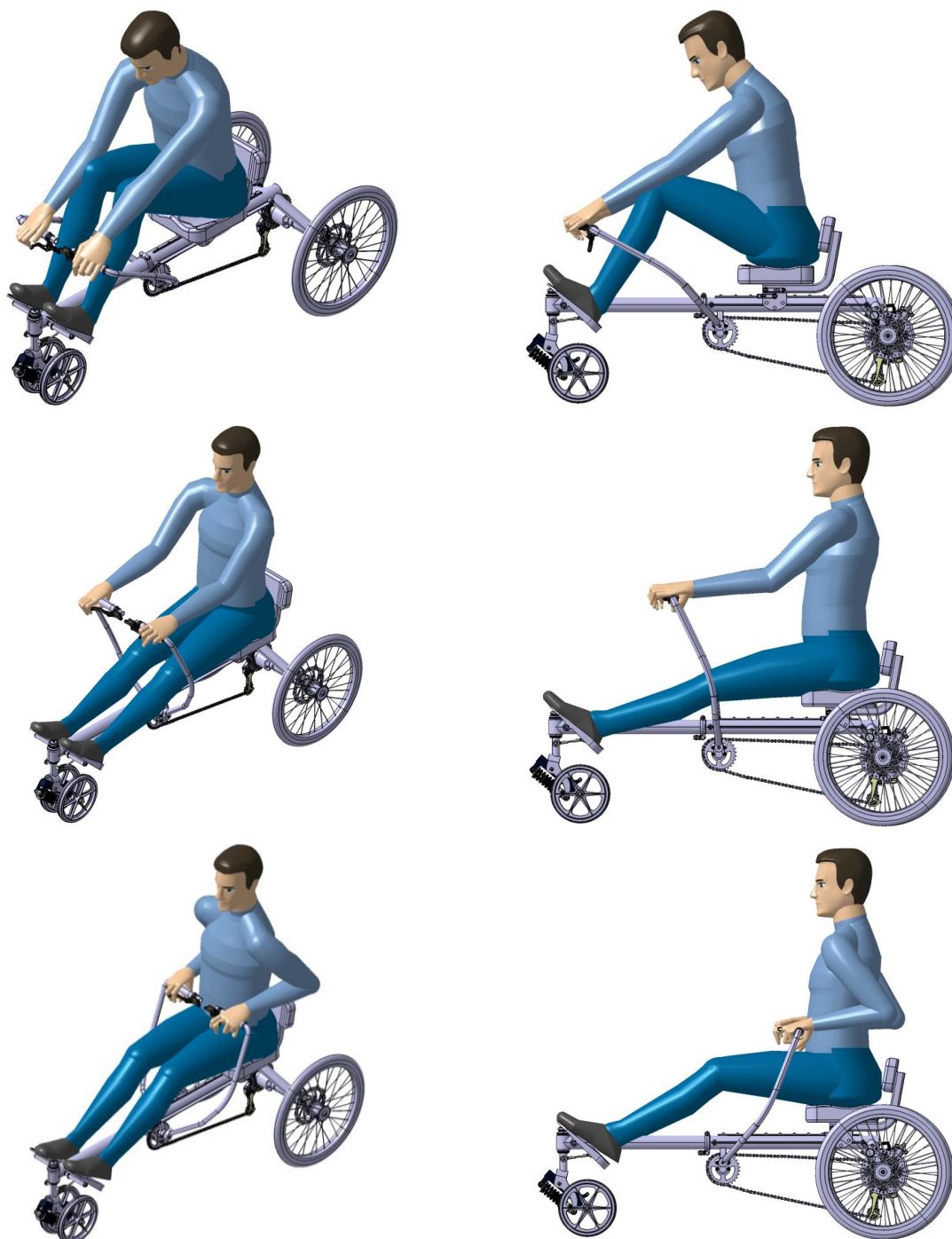


Figura 73 - Simulação do movimento na plataforma

As figuras que se seguem contêm os protótipos virtuais de cada uma das vertentes anteriormente referidas na secção de plano de diferenciação do produto. Deste modo são apresentados protótipos para a versão de mobilidade urbana convencional, a sua versão adaptada a deficientes motores e a versão de competição.

A Figura 74 ilustra a plataforma de mobilidade urbana em configuração de utilização e arrumação.



Figura 74 - Dispositivo de mobilidade urbana

Na Figura 75 ilustra-se a plataforma na versão adaptada a deficientes motores. Nesta configuração, é possível fixar o banco deslizante, bem como prender o utilizador com cintos de segurança. Nesta modalidade, a mudança de direção é feita do mesmo modo que na cadeira de rodas. Graças ao diferencial no eixo traseiro, o utilizador pode travar a roda do lado interior da curva e continuar a remar sendo que a roda do lado oposto continua a girar efetuando a mudança de direção. As rodas da frente rodam livremente tal como acontece nas cadeiras de rodas.

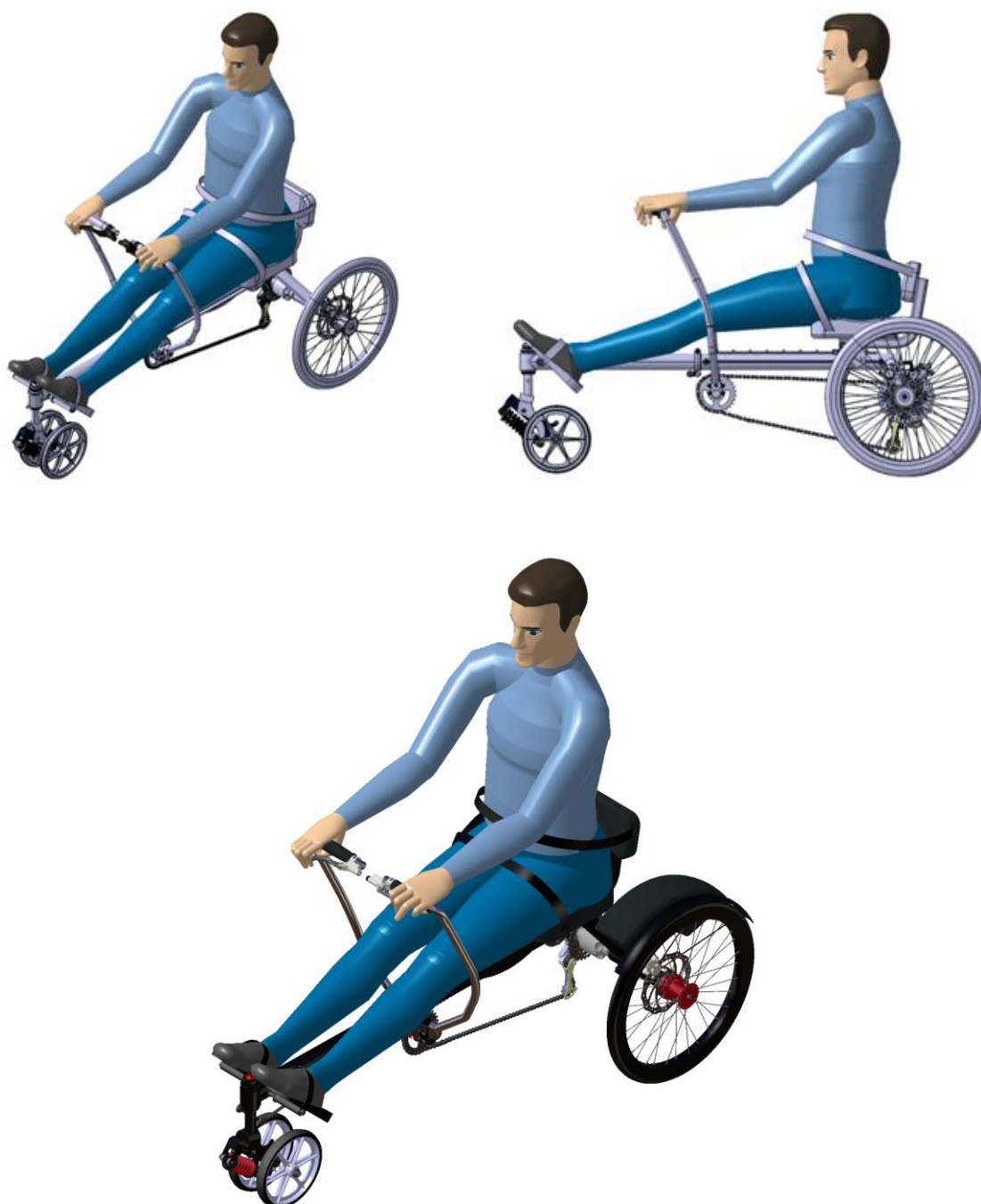


Figura 75 - Dispositivo adaptado a paraplégicos

Após análise mais minuciosa do projeto, coloca-se a hipótese de ser necessário fazer alterações no banco escolhido ou então substituí-lo por um exclusivamente feito para o remo adaptado. Isto porque para tornar o dispositivo mais pequeno e leve, optou-se por um banco com um apoio no fundo das costas ao invés de um banco de maiores dimensões. Dada a natureza do movimento do remador, um apoio de costas demasiado elevado complicaria o movimento visto que na fase final do ciclo de remada o utilizador inclina-se um pouco para trás levando os cotovelos junto ao tronco.

A versão exclusiva para competição ilustrada na Figura 76, apenas foi concetualizada em termos gerais de conceito.



Figura 76 - Dispositivo exclusivo para competição

4.7 DESIGN PARA FABRICO

As necessidades dos clientes e as especificações do produto são úteis para definir o conceito do produto, mas nas fases posteriores de conceção é por vezes difícil ligar as necessidades e especificações ao projeto específico do produto.

Poli, 2001, define que o *design* para fabrico está diretamente relacionado com o custo de produção do produto. Tem por objetivo estimar os custos de fabricação, reduzir os custos dos componentes, reduzir os custos de montagem, reduzir os custos de estrutura de suporte à produção, e também considerar as consequências das decisões tomadas em outros fatores.

O custo dos componentes de um produto pode incluir o custo de peças standardizadas, como também podem incluir o custo de peças fabricadas na própria empresa ou em empresas subcontratadas. Assim, serão estimados os custos de aquisição de componentes standardizados e custos de fabricos dos restantes componentes.

Componentes standardizados

As imagens que se seguem contêm os componentes seleccionados para integrar o dispositivo. A maioria dos produtos encontra-se à venda em Portugal, sendo que os restantes foram encontrados em sítios estrangeiros na internet.

A Figura 77 ilustra os componentes standardizados necessários para o projeto.



Conjunto de travões, seletor de velocidades, punhos em espuma



Cassete de velocidades, desviador, diferencial, prato pedaleiro



Roda 20", eixo traseiro



Aperto rápido, rolamentos, corrente



Banco



Amortecedor, caixa direção, roda 8"

Figura 77 - Componentes estandardizados

[fontes: Poison Bikes, 2012; Pato Cycles, 2012; Bike Zone, 2012; Pro Bike Shop, 2012; Samagaga, 2012; Amazon, 2012; Source BMX, 2012; Decathlon, 2012; Bicycle Designer, 2012; Aveimédica, 2012; Health Clubs at Home, 2012; ISB, 2012; SKF, 2012; Peak, 2012]

Dada a complexidade de alguns aspetos particulares do dispositivo, nomeadamente o sistema de deslizamento do banco e apoio de pés, os componentes associados não foram abordados nesta estimativa de custos, sendo que será dada uma margem no custo total para

salvaguardar este aspeto. Os custos de aquisição dos componentes acima referidos encontram-se na Tabela 24.

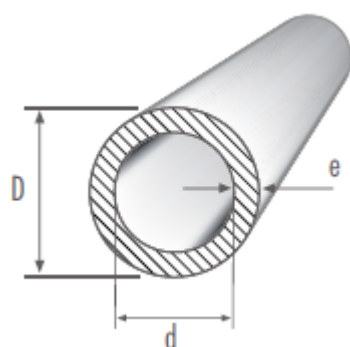
Tabela 24 - Componentes estandardizados

Peça	Fornecedor	Descrição	Qntd	Preço (€)
Manetes	Poison Bikes	Avid Elixir 5	1	147,6
Discos				
Pinças				
Seletor	Pato Cycles	Shimano 2012 Acera 8v	1	9,64
Cassete	Bike Zone	Shimano Acera 8v	1	9,84
Desviador	Pro Bike Shop	Shimano Alivio 8v	1	19,99
Diferencial	Samagaga	Differential DG-72NCS	1	180
Eixos	Amazon	Sun Trike Axle	2	45,8
Prato Pedaleiro	Source BMX	Deluxe F-Lite Sprocket	1	29,99
Corrente	Decathlon	Corrente 1 velocidade b'Twin	2	15,9
Roda 20"	Bicycle Designer	20" 36 Spoke Hollow Hub Wheel	2	100
Roda 8"	Aveimédica	Roda 8 polegadas Aveimédica	2	54
Banco de remo	Health Clubs at Home	Firts Degree Fitness Rower Seat	1	39
Punhos	Decathlon	Punho espuma 130mm b'Twin	1	5,95
Amortecedor	Moto Classe	Amortecedor KS-Plus	1	29,11
Caixa de direção	Decathlon	Caixa direção de rosca b'Twin	1	13,95
Rolamento 20mm	ISB	61904-2RS	8	31,52
Rolamento 17mm	SKF	6003-2Z	4	42,52
Rolamento 30mm	Peak	HF3020	2	30
			TOTAL	804,81

Componentes para fabrico

Relativamente aos componentes para fabrico, é necessário adquirir a matéria prima e posteriormente proceder à sua maquinação e soldadura. Estes componentes incluem os perfis em alumínio para fabricar o *chassis* do dispositivo, bem como os perfis em aço para os remos. Para todos os componentes necessários de maquinar, nomeadamente a caixa de engrenagens e respetivos veios, será assumido um custo potencial de matéria prima e maquinação.

Os perfis circulares em alumínio para fabricação do *chassis* foram selecionados consultando o catálogo de produtos da empresa *Lanema*, 2012, em Ovar. Na Figura 78 encontram-se os três perfis que irão formar a estrutura principal do dispositivo.

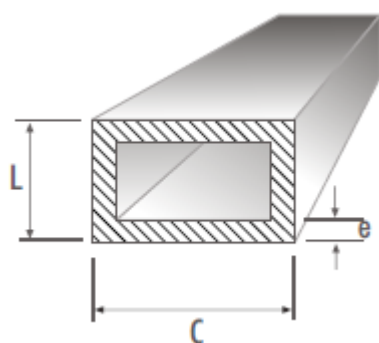


D x d x e (mm)
40 x 33 x 3,5
50 x 40 x 5,0
50 x 44 x 3,0

Figura 78 - Perfis para o chassis

[fonte: Lanema, 2012]

Na Figura 79 ilustra-se o perfil de secção retangular em alumínio que irá ligar a caixa de engrenagens ao *chassis* da plataforma. Este perfil é fornecido pela mesma empresa que fornece os perfis circulares.

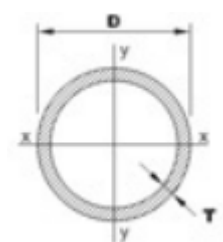


C x L x e (mm)
40 x 20 x 3,0

Figura 79 - Perfil para a caixa de engrenagens

[fonte: Lanema, 2012]

Em relação aos remos, estes serão obtidos por maquinação de um perfil circular em aço carbono obtido pelos catálogos da empresa *Grupo Ferpinta*, 2012, ilustrado na Figura 80.



Diâmetro Ext. (mm) D	Espessura (mm) T
22	2,00

Figura 80 - Perfil para os remos

[fonte: Grupo Ferpinta, 2012]

Custos de montagem

Para avaliar os custos de montagem da plataforma é necessário estimar o tempo de montagem de cada grupo de componentes. Deste modo elaborou-se a

Tabela 25 onde estão representados os tempos previstos de montagem dos componentes.

Tabela 25 - Tempos de montagem estimados

Módulo	Componentes	Tempo de montagem (s)
<i>Chassis</i>	Parte frontal	240
	Parte traseira	
	Apoios de pés	240
	Fixadores de posição	60
	Caixa de engrenagens	900
Eixo traseiro	Rolamentos	600
	Eixos	
	Diferencial	
	Pinças	60
	Discos	120
	Desviador	30
	Rodas	60
Eixo dianteiro	Caixa direção	120
	Forqueta	120
	Amortecedor	60
	Rodas	30
Remos	Remos	60
	Punhos	120
	Manetes	
	Seletor	
Banco	Banco	60
	Carro deslizante	
Corrente	Corrente	60
TOTAL		2940

O tempo de montagem previsto não atinge uma hora. Este valor é talvez pouco realista, dado o número total de componentes. Deste modo o valor será aproximado para 3600 segundo, de modo a contabilizar componentes e operações não contempladas na Tabela 25. Assumindo uma taxa horária de 50 euros, será este o valor do custo total de montagem previsto.

Custo total

O custo total previsto deve ter em conta a ausência de alguns componentes específicos, para os quais é difícil prever os custos. Para alguns componentes relacionados com a parte do remo, nomeadamente apoios de pés e sistema de direção, serão estimados valores por comparação com os preços praticados pelos fornecedores de componentes para o mesmo. Outra questão é a estimativa pouco precisa dos custos de maquinaria de certos componentes como a caixa de engrenagens e veios. Levando em consideração estes aspetos, o valor final obtido será inflacionado de um acréscimo de 10% do custo total previsto. A estimativa dos custos de fabricação do quadro resulta de um orçamento pedido na empresa *Ciclovaldemiro*, em Ovar, no qual estão incluídos custos de maquinaria, soldadura e preparação do gabari.

A estimativa final para o custo do dispositivo é então obtida somando a previsão dos custos de aquisição de materiais, maquinaria e soldadura, discriminados na Tabela 26.

Tabela 26 - Custo total de produção

Fator	Custo (€)
Custo de componentes	804
Matéria prima	100
Maquinação	300
Soldadura	
Montagem	50
TOTAL	1254
TOTAL inflacionado	1379,4

Esta estimativa de custo é relativamente elevada em comparação com o custo de fabrico de uma bicicleta ou triciclo comum. Por outro lado, comparativamente ao custo de uma embarcação completa de remo que normalmente custam acima de 2.000€, ou triciclos de locomoção manual desportivos com preço de venda acima dos 2.500€, o custo total é aceitável. Tendo em consideração que os inquiridos admitiam um preço máximo de 1.000€, é necessário analisar onde é possível diminuir custos.

Um aspeto relevante é o fato de serem considerados valores de venda ao público de componentes, e todo o processo de maquinaria e soldadura é feito por encomenda, para um só dispositivo. Caso este fosse construído por um fabricante profissional de bicicletas, os custos de componentes diminuiriam, bem como os custos de fabrico da estrutura.

4.8 PROTÓTIPOS

Após toda a fase retratada nos subcapítulos anteriores é então altura de gerar as versões aproximadas do modelo final do produto. Esta tarefa inclui a geração de protótipos virtuais da versão de mobilidade urbana da plataforma e da sua análise funcional. Posteriormente foi realizado um modelo físico à escala de 1:6 recorrendo a materiais domésticos e brinquedos inutilizados.

4.8.1 PROTÓTIPOS VIRTUAIS

Os protótipos virtuais seguidamente apresentados (ver Figura 81) ilustram a versão final da plataforma, a versão de plataforma de mobilidade urbana.







Figura 81 - Protótipos virtuais

4.8.2 PROTÓTIPO FÍSICO

Design do produto é dar forma, razão e personalidade ao que é inanimado (Hannah, 2004).

De modo a materializar o produto desenvolvido, procedeu-se à construção de um protótipo físico à escala de 1:6 recorrendo aos materiais ilustrados na Figura 82. Estes materiais referem-se a brinquedos de bicicletas e motociclo, *clips*, raios de bicicleta antigos, rebites, tampas de embalagens de iogurte, cola, marcadores de feltro, porta-moedas antigo, esponja de lavar loiça, entre outros.



Miniatura de bicicleta de adulto



Miniatura de bicicleta BMX



Miniatura de motociclo



Material doméstico variado

Figura 82 - Materiais para construção do protótipo físico

Seguidamente na Figura 83 encontram-se fotografias da maquete em configuração de uso, arrumação e transporte.



Maquete em configuração de utilização



Pormenor da suspensão

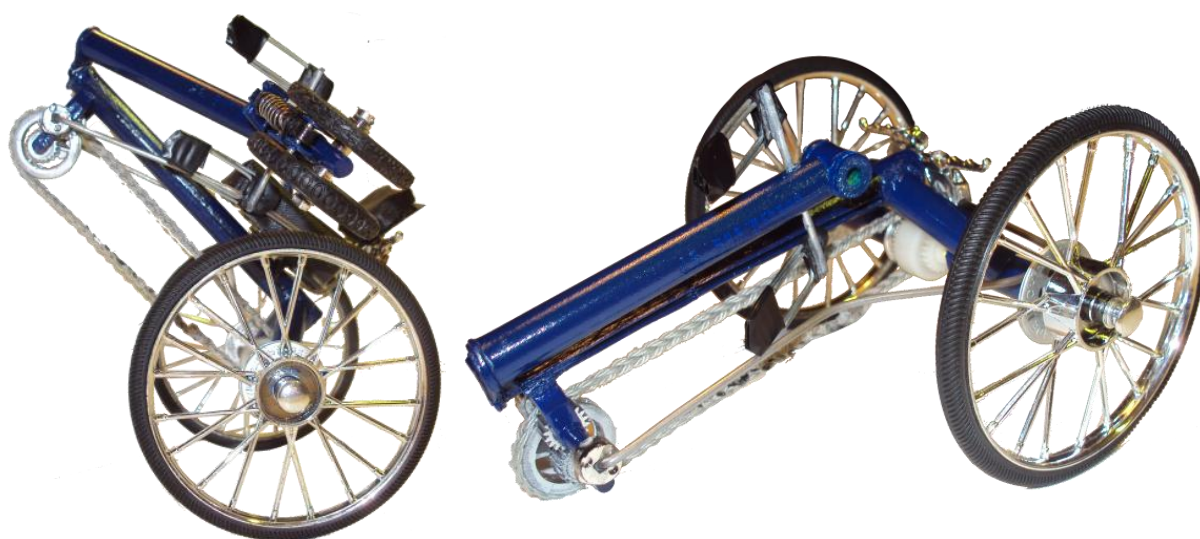


Pormenor das engrenagens



Vista traseira





Configurações de arrumação



Configuração de transporte

Figura 83 - Fotografias do protótipo físico

4.8.3 ANÁLISE FUNCIONAL

Na análise funcional será explicado todo o modo de locomoção da plataforma, bem como algumas características técnicas dos componentes mais importantes. Deste modo será descrito o princípio do sistema de tração, sistema de direção, fixação do banco, arrumação e transporte. A análise funcional incide sobre o modelo final do produto, sendo que os protótipos iniciais sofreram melhorias e alterações de *design*.

Tração

O sistema de engrenagens é um aspeto particular do dispositivo. O sistema é composto por dois veios em aço onde estão ligadas por chavetas as rodas dentadas, apoiados entre rolamentos. O movimento do utilizador é transmitido do remo para o prato pedaleiro pelo conjunto de engrenagens paralelas responsáveis pela inversão do sentido de rotação. O ponto-chave do sistema de transmissão é a utilização de rolamentos de sentido único (capacidade até 90 Nm). Ou seja, apenas transmitem movimento num sentido de rotação, sendo que no outro sentido não há tração. Este sistema permite mover os remos de modo independente. Na Figura 84 identifica-se o veio de transmissão (número 1), onde será acoplado o sistema de rolamento de agulhas (número 2), que por sua vez se encontra alojado no remo (número 3). A tampa (número 4) e o parafuso e anilha (número 5) mantêm todo o sistema agrupado.

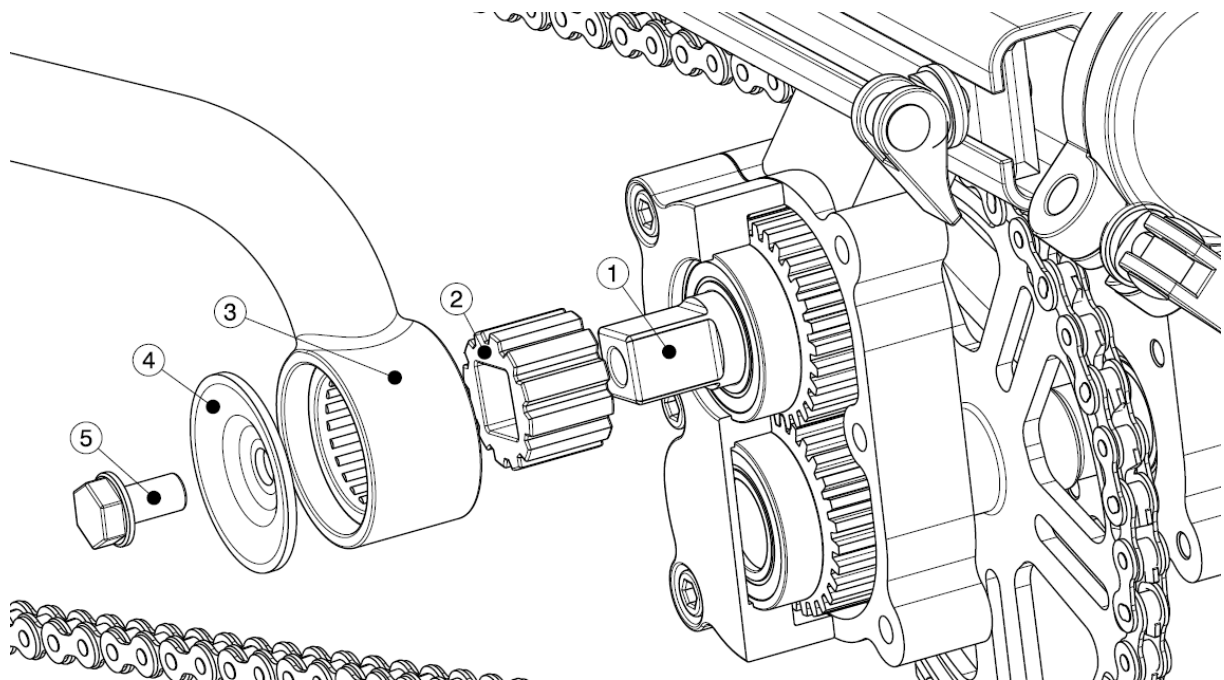


Figura 84 - Sistema de tração

Relativamente à necessidade de variação de velocidade, a cassette de velocidades do eixo traseiro permite essa função. Dado que a roda pedaleira possui 36 dentes e a cassette varia entre 11 e 32 dentes, é possível obter relações de transmissão entre 1:3,3 e 1:1,1. Esta variação de relação de transmissão provoca variação no nível de força exercida nos remos pelo utilizador. Este método pode ser utilizado para aumentar o nível de dificuldade do movimento, tendo em consideração que poderá provocar o aumento de velocidade do dispositivo se o utilizador mantiver a cadência de remada. De modo a alterar o nível de força necessária para o movimento, é possível aproveitar o já existente sistema de regulação da posição da manete dos travões, ilustrado a cor vermelha na Figura 85. Assim, através do sistema de travagem é possível regular a dificuldade do movimento.

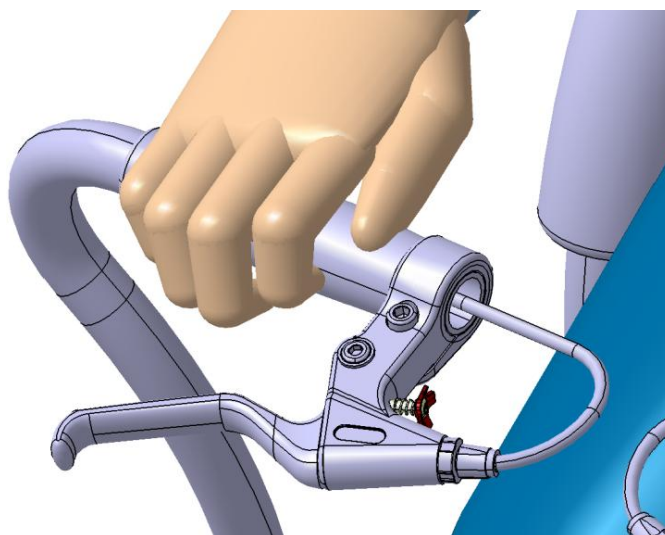


Figura 85 - Regulador de força

Direção

A mudança de direção poderá ser realizada de dois modos distintos. O primeiro modo é aplicando o método de controlo do leme aplicado nas embarcações a remos, onde a mudança de direção é controlada por rotação do pé (ver Figura 86). Este método recorre à conexão entre o apoio de pé direito e a caixa de direção através de articulações de esfera. Deste modo, quando o utilizador efetua a rotação do pé, o movimento provoca a rotação da caixa de direção, virando assim as rodas dianteiras da plataforma.

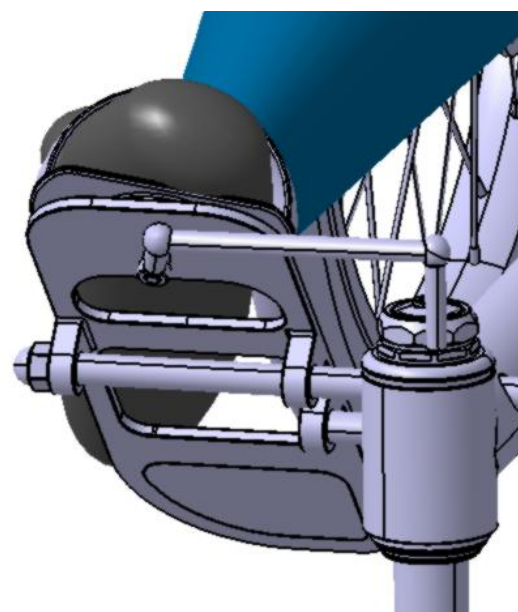
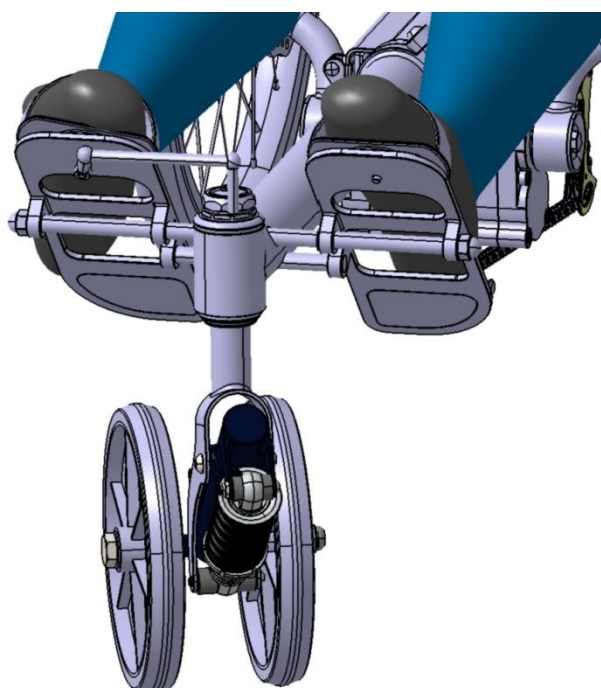
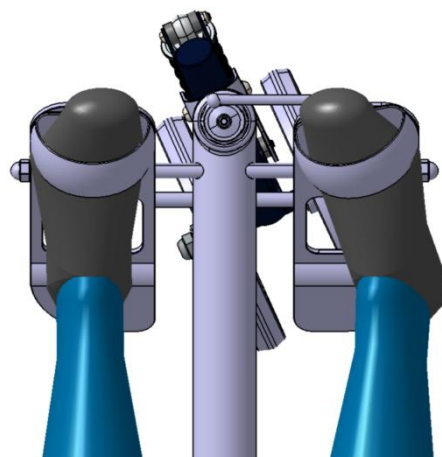
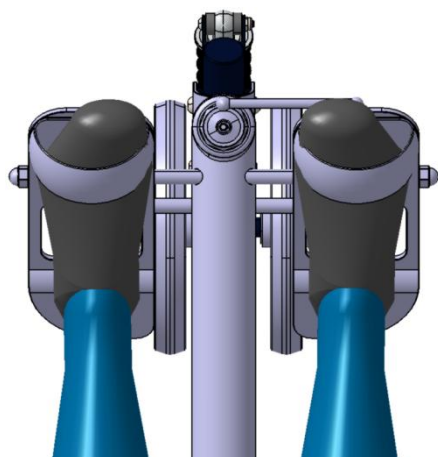


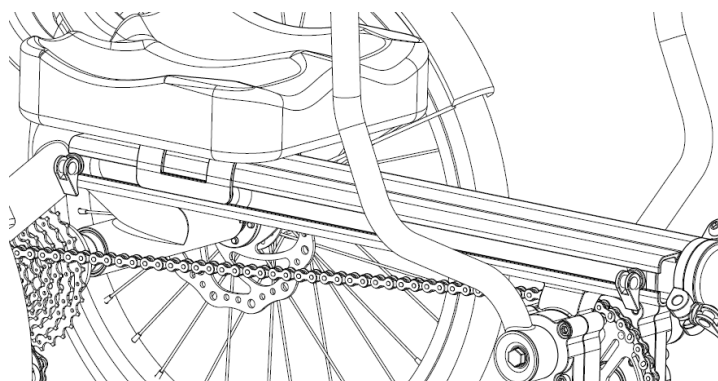
Figura 86 - Direção controlada por rotação do pé
[fonte: Shimano, 2012]

O método alternativo segue o princípio da cadeira de rodas. Dado que o eixo traseiro possui diferencial, o utilizador pode travar uma roda e continuar a remar com ambos os remos, sendo que a roda do lado oposto continua a girar provocando a mudança de direção da plataforma. Nesta situação a roda dianteira gira livremente tal como acontece nas cadeiras de rodas.

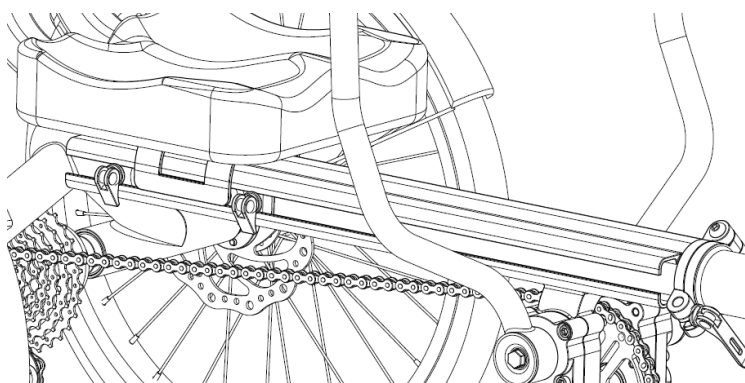
Fixação banco

De modo a possibilitar ao utilizador optar por remar com o banco deslizante ou com o banco fixo, o dispositivo contém quatro fins de curso em borracha acoplados com apertos rápidos ao carril. Isto permite associar duas funções numa só: fins de curso do carril e fixar o banco na posição desejada.

Optando por banco deslizante, os fins de curso serão fixados nas extremidades do carril. Caso o utilizador pretenda fixar o banco, ou no caso de utilizadores paraplégicos, os fins de curso serão colocados na posição desejada, impedindo movimento do banco. As duas opções encontram-se ilustradas na Figura 87.



Banco livre

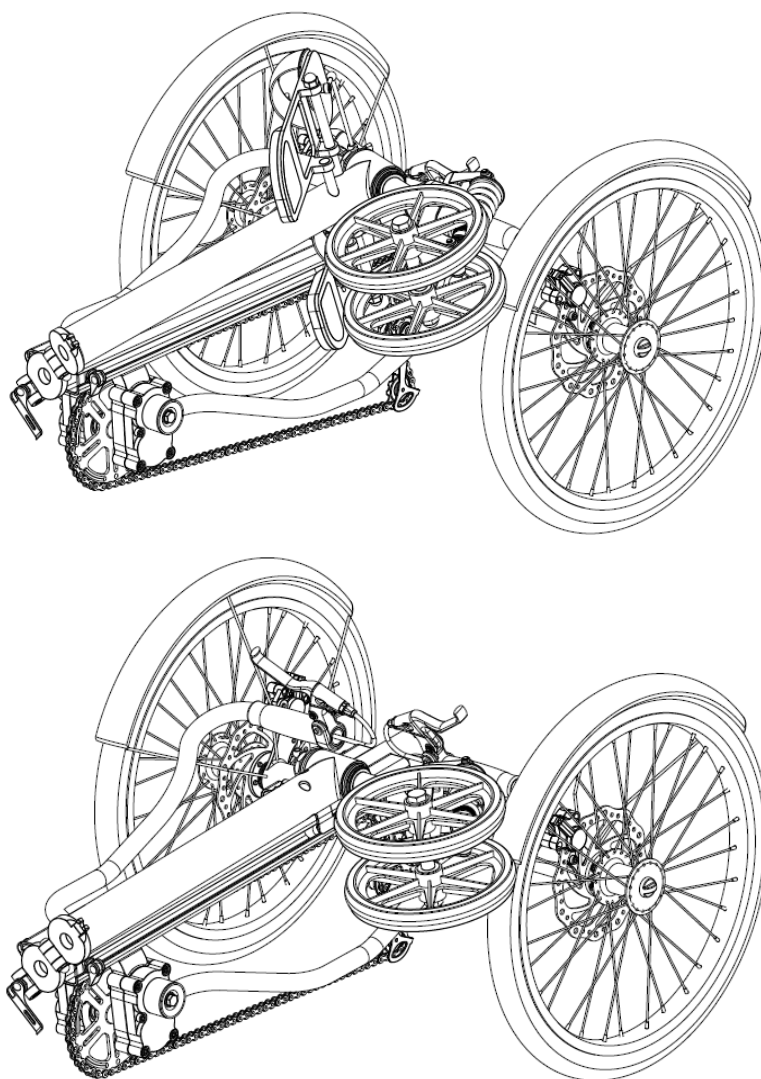


Banco fixo

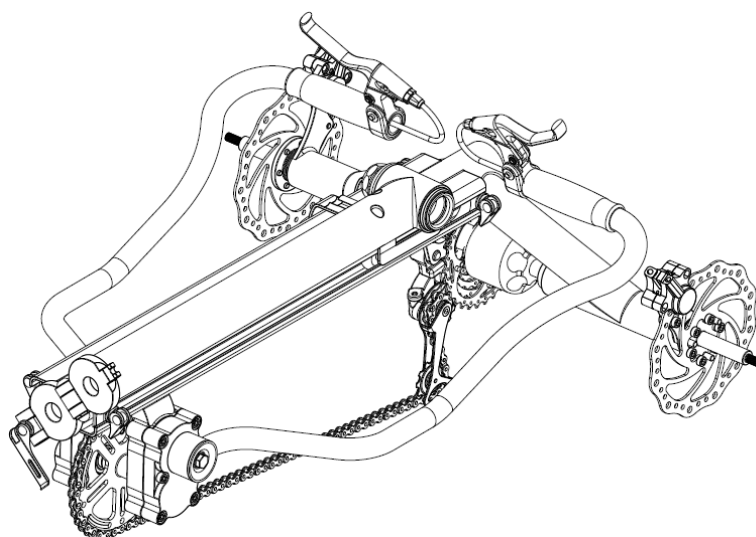
Figura 87 - Fixação do banco

Arrumação e transporte

O processo de dobragem do dispositivo inicia-se com a remoção do banco que está fixo ao carro deslizante por aperto rápido. Seguidamente posicionam-se os remos na parte traseira e dobra-se a plataforma. A dobragem é feita a 45° o que permite rodar a parte dianteira 90° ficando a forqueta paralela ao solo, permitindo menor atravancamento. O sistema de dobra permite reduzir o volume ocupado pela plataforma bem como possibilita o seu transporte. Neste último caso, poderá ser necessária a remoção das rodas, forqueta e apoios de pés. Estes componentes poderão ser facilmente removidos, dado que as rodas de trás estão acopladas por porcas facilmente removíveis, a forqueta necessitará apenas de alívio no parafuso da caixa de direção e os apoios de pés também estão acoplados por porcas. A Figura 88 ilustra as várias configurações da plataforma em arrumação e transporte.



Configurações da plataforma em arrumação



Configuração da plataforma em transporte

Figura 88 - Configuração da plataforma em arrumação e transporte

Para o estudo da portabilidade do dispositivo, mediu-se o volume da bagageira de um automóvel de três volumes e de um pequeno utilitário. As dimensões são de 1000 x 900 x 400 mm para o automóvel de três volumes e de 900 x 1100 x 500 mm para o utilitário (estando os bancos rebatidos).

Sendo que as medidas do dispositivo em arrumação e transporte são 789 x 685 x 409 mm, como ilustra a Figura 89, conclui-se que é possível transportar o dispositivo em ambos os automóveis, sendo que o banco e a forqueta serão transportados no restante volume da bagageira.

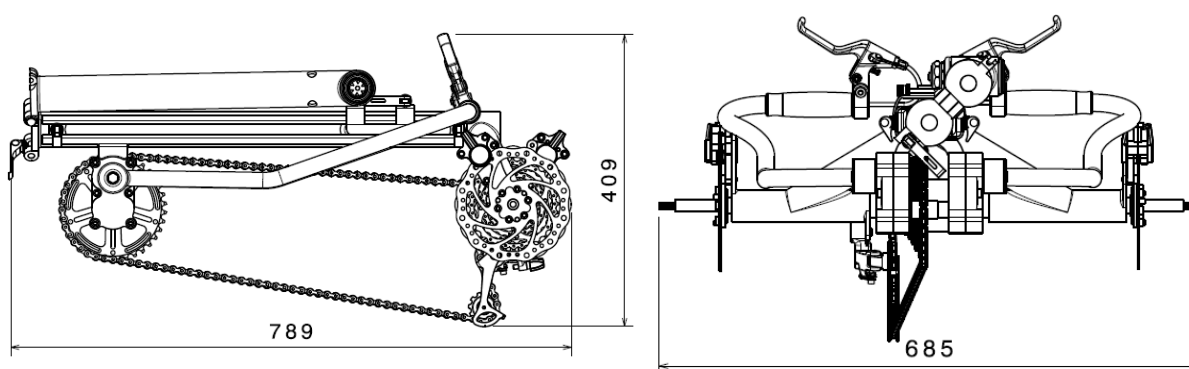


Figura 89 - Dimensões em configuração de transporte

4.8.4 VERSÃO FINAL

Especificações finais

Após a realização de protótipos e feita já a análise funcional, será feita a comparação entre os valores das especificações definidos aquando a construção da matriz da casa da qualidade, de modo a verificar se os valores alvo foram ou não atingidos (ver Tabela 27). Caso os valores alvo difiram dos valores finais, é importante verificar se estes se encontram no intervalo definido pelo valor marginal e o valor máximo de cada especificação.

Tabela 27 - Valores finais das especificações

	Especificações	Grandeza	Valor alvo	Valor final
Dimensões em uso	Comprimento	cm	130	147
	Largura	cm	70	70
	Altura	cm	50	63
	Altura banco ao solo	cm	40	46
	Largura do banco	cm	45	25.4
Dimensões em arrumação	Comprimento	cm	70	79
	Largura	cm	50	68.5
	Altura	cm	30	49
Peso	Peso máximo utilizador	kg	120	100
	Peso	kg	20	24
Diâmetro das rodas	Frente	polegadas	20	20
	Trás	polegadas	8	8
Componentes	Velocidades	unidades	10	10
	Ângulo das rodas	graus	0	0
	Comprimento do carril	cm	60	59.4
	Distância pés/banco	cm	50	50-95
	Níveis de força	unidades	5	Inf.
	Rigidez do quadro	GPa	70	70

Resulta da análise da Tabela 27 a conclusão de que as especificações finais do produto encontram-se dentro do intervalo definido entre o valor marginal e o valor máximo aceite, sendo que algumas assumem o valor alvo, definido após construção da matriz da casa da qualidade. De notar que o valor obtido para o peso do dispositivo resulta da medição da massa em CATIA V5 R19 do *chassis*, remos, engrenagens, veios e tampas da caixa de engrenagens, somada com os pesos dos componentes que se encontram nos sítios consultados para pesquisa de preços. O peso obtido em CATIA V5 R19 para o conjunto anteriormente referido de 8,075kg. Adicionalmente foi dada uma margem de 1kg para componentes de ligação.

4.9 DESIGN ROBUSTO

Um produto robusto (ou processo) é aquele que mesmo sobre condições não ideais de funcionamento ou produção continua a ter a *performance* desejada. De acordo com Park et al., 2008, estes fatores (variáveis) não ideais são definidos como ruído, significando variações incontroladas dos parâmetros em torno do produto ao nível do seu funcionamento ou produção.

Neste projeto será definido um plano de experiências para um aspeto específico do desempenho da plataforma. Será também feita uma análise de elementos finitos em CATIA V5 R19, recorrendo ao módulo de análise de estruturas, relativamente ao comportamento do *chassis* do dispositivo aquando alvo de solicitações mecânicas.

4.9.1 PLANO DE EXPERIÊNCIAS - DOE

De acordo com Ulrich e Eppinger, 2008, na maioria das situações, cálculos baseados em leis físicas podem ser utilizados para dimensionamento de estruturas e sistemas mecânicos. Porém, há situações nas quais os modelos matemáticos não bastam para um produto robusto. Nestes casos, é através de experiências que se aperfeiçoam as características do produto.

Para a realização de um plano de experiências (*DOE – Design Of Experiments*) é necessário definir as variáveis que irão alterar de valor de uma forma controlada durante a experiência, de forma a explorar o desempenho do produto em função dessas variações. Estas variáveis denominam-se variáveis de controlo. É necessário determinar também os fatores de ruído, que por sua vez são variáveis que não podem ser explicitamente controladas durante o fabrico e funcionamento do produto. Estes ruídos podem ser alterações das variáveis de fabrico como também múltiplos cenários de utilização do produto. Finalmente são definidos os fatores de avaliação de desempenho, sendo aspetos com interesse de avaliar na experiência.

No projeto é identificado um aspeto no qual há necessidade de realização de experiências, que está relacionado com a eficiência do movimento de propulsão. Dado que não se pode prever a capacidade do remador em executar o movimento e também o local onde irá utilizar o dispositivo, este é um aspeto muito importante a ser testado. Deste modo, foram então identificadas variáveis de controlo, fatores de ruído e fatores de medição de desempenho. A Figura 90 esquematiza o problema.

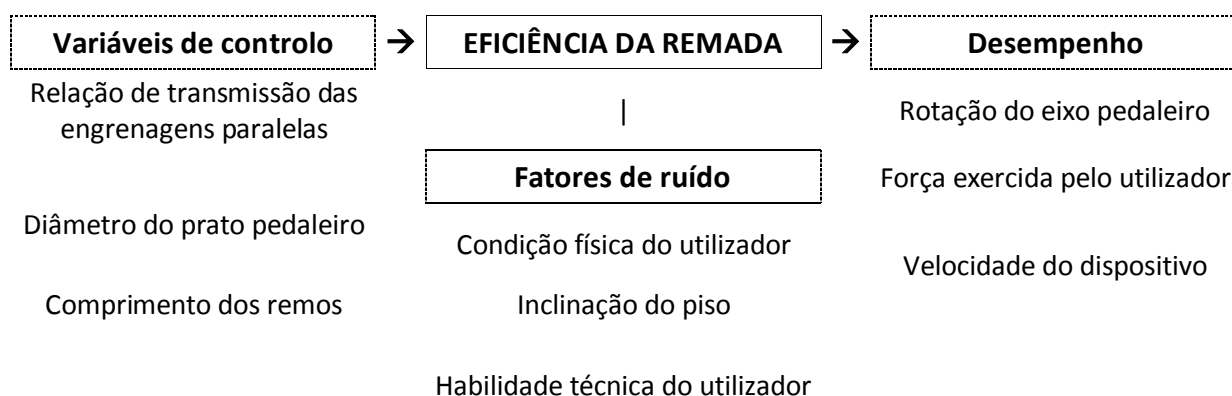


Figura 90 - Esquema DOE

Dado que foram identificados três fatores, desenvolveu-se um plano de experiências fatorial total. Este tipo de plano permite a exploração de todas as combinações possíveis dos diferentes níveis de cada fator, permitindo a identificação completa dos efeitos no desempenho do produto.

A Tabela 28 enumera as variáveis de controlo, sendo que cada uma delas assumirá o seu valor mínimo e máximo, atendendo à experiência em causa.

Tabela 28 - Fatores DOE

A	Relação de transmissão
B	Diâmetro do prato pedaleiro
C	Comprimento dos remos

A1	Relação de transmissão mínima
A2	Relação de transmissão máxima
B1	Diâmetro mínimo do prato pedaleiro
B2	Diâmetro máximo do prato pedaleiro
C1	Comprimento mínimo dos remos
C2	Comprimento máximo dos remos

Seguidamente é esquematizado um plano de experiências, evidenciando as várias combinações a efetuar entre as diferentes variáveis de controlo (ver Tabela 29).

Tabela 29 - Plano de experiências

		A1	A2
B1	C1	X	X
	C2	X	X
B2	C1	X	X
	C2	X	X

Após a definição das diferentes variáveis da análise experimental, bem como a sua planificação, é definido o método de avaliação do desempenho. Neste caso, será avaliado o nível de força necessário para locomoção da plataforma, bem como o ângulo de rotação do eixo pedaleiro e velocidade de deslocamento do dispositivo.

Tabela 30 - Avaliação do desempenho

	Força exercida (medida qualitativa)	Rotação do eixo pedaleiro	Velocidade do dispositivo
A1,B1,C1			
A1,B1,C2			
A1,B2,C1			
A1,B2,C2			
A2,B1,C1			
A2,B1,C2			
A2,B2,C1			
A2,B2,C2			

Relativamente a este plano de experiências, apenas se procedeu à elaboração da metodologia não tendo sido realizado nenhum tipo de experiência na prática. Não obstante este é um plano de experiências que poderia ser efetuado após a construção de um protótipo da plataforma à escala real.

4.9.2 ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO - AMFE

Para Statamis, 2003, a AMFE é uma técnica de engenharia usada para definir, identificar, e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, do sistema, *design*, processo, e/ou serviço antes que este chegue ao consumidor. Na sua essência, a AMFE fornece um método sistemático de examinar todas as falhas possíveis. Para cada falha é feita uma estimativa do seu efeito, da sua seriedade, da sua ocorrência (frequência) e a sua deteção. A AMFE vai identificar ações corretivas necessárias à prevenção de falhas para que estas não cheguem ao consumidor, assegurando a mais alta durabilidade, qualidade e fiabilidade de um produto ou serviço.

A Tabela 31, Tabela 32 e Tabela 33, contêm os resultados da AMFE relativamente aos componentes da plataforma, modo de utilização e resposta aos requisitos de cliente. Os resultados destas análises serão comentados posteriormente à apresentação das tabelas.

Tabela 31 - AMFE componentes

Função	Modo de falha	Causa	Efeito	Termo crítico	Ações corretivas
Estrutura resistente	Deformação do quadro	Peso do utilizador Forças geradas no movimento	Danificação	Falha maior	Dimensionar corretamente o <i>chassis</i>
	Rutura do quadro	Colisão com obstáculos	Queda	Falha crítica	
	Deformação dos remos	Forças geradas pelo utilizador	Danificação	Falha maior	Dimensionar corretamente os remos
Manutenção	Desgaste de componentes	Componentes de baixa qualidade	Desgaste	Falha maior	Selecionar componentes robustos
	Oxidação de componentes	Exposição a ambientes agressivos	Danificação	Falha maior	Aplicar tratamentos de superfície anti oxidação
Fiabilidade	Folgas nas ligações entre componentes	Mau projeto de ligações aparafusadas	Fragilidade da plataforma	Falha maior	Reavaliar o projeto e tolerâncias
	Falha de travões	Má instalação do sistema	Queda	Falha crítica	Instalar corretamente os componentes
	Falha de transmissão				

Tabela 32 - AMFE utilização

Função	Modo de falha	Causa	Efeito	Termo crítico	Ações corretivas
Acesso	Deslocamento do triciclo	Falta de travão estacionamento	Queda do utilizador Desequilíbrio utilizador	Falha crítica Falha maior	Aplicar travão de estacionamento
Propulsão	Movimento difícil	Utilizador fisicamente fraco	Esforço excessivo utilizador Funcionamento irregular Funcionamento irregular Danificação Desconforto	Falha menor Falha maior Falha maior Falha maior Falha menor	Aplicar seletor de velocidades para regulação da relação de transmissão
Mudar de direção	Movimento difícil	Movimento desconfortável	Desconforto utilizador Falta de manobrabilidade Instabilidade do triciclo Desconforto	Falha menor Falha maior Falha maior Falha menor	Desenvolver um sistema de direção mais ergonómico
Travar	Ação complexa	Manetes pouco ergonómicas	Desconforto Colisão Queda	Falha menor Falha maior Falha crítica	Selecionar manetes ergonómicas
Montagem	Processo complexo	Ligações aparafusadas	Desconforto Arrumo condicionado Elevado atravancamento	Falha menor Falha menor Falha menor	Recorrer a sistemas de aperto rápido

Tabela 33 - AMFE resposta aos requisitos de cliente

Função	Modo de falha	Causa	Efeito	Termo crítico	Ações corretivas
Preço de venda	Demasiado caro comparativamente com máquinas de remo	Poucas possibilidades de escolha de componentes	Não vende	Falha crítica	Possibilitar a escolha de diversas configurações/ componentes
Esteticamente atrativo	<i>Design</i> pouco apelativo	Simplicidade no aspeto construtivo pode implicar perda estética	Não vende	Falha crítica	Oferecer a personalização do dispositivo
Ergonomia	Dificuldade de utilização	Dimensões erradas da estrutura	Funcionamento irregular	Falha maior	Estudar do movimento em protótipo
Versatilidade	Dificuldade de utilização para deficientes motores	Má preparação do triciclo para possibilidade de adaptação	Não satisfaz um grupo alvo	Falha maior	Redefinir a arquitetura do produto
	Falta de eficiência em terrenos acidentados	Falta de eficiência na transmissão	Não permite utilização em todo o terreno	Falha menor	Otimizar a relação de transmissão
		Falta de amortecimento			Aplicar sistemas de todo o terreno
Atravancamento	Ocupa muito espaço em arrumação	Sistema de dobragem pouco desenvolvido	Problemas de arrumação	Falha menor	Desenvolver o sistema de dobragem
	Ocupa muito espaço na via pública	Plataforma mal projetada	Difícil utilização	Falha maior	Corrigir o projeto mecânico
			Compromete segurança do utilizador	Falha crítica	

Relativamente ao modo de falha dos componentes (Tabela 31) foram detetadas duas falhas de termo crítico, relacionadas com a robustez da estrutura do dispositivo e com a sua fiabilidade. Ambas as falhas colocam em risco, potencialmente, a integridade física do utilizador. Em termos de robustez estrutural, a ação corretiva para esta falha é proceder ao correto dimensionamento do *chassis*, através de simulação numérica, e numa fase mais avançada construir um modelo físico para testes de resistência. Em termos de fiabilidade dos componentes, a escolha de componentes standardizados e de boa qualidade é a ação que potencia a garantia de qualidade. Isto porque

componentes standardizados serão também mais facilmente instalados na plataforma, garantindo um bom funcionamento e facilidade de manutenção.

Analisando os modos de falha em utilização do dispositivo (Tabela 32) foram detetadas duas falhas críticas relacionadas com o acesso à plataforma e sistema de travagem. Para indivíduos com limitações físicas ou de mobilidade mais reduzida, como idosos ou paraplégicos, o acesso ao dispositivo pode ser difícil dado que este pode deslocar-se. O diâmetro dos remos permite que sejam instaladas manetes de travões que contenham patilha de fixação (manetes estas existentes no mercado), servindo de travão de estacionamento. Assim, para utilizadores com mobilidade condicionada é possível facilmente substituir as manetes comuns por manetes com sistema de travão de estacionamento. A dificuldade no movimento de propulsão é uma falha maior, visto que pode até impossibilitar o uso da plataforma. A colocação de seletor de velocidades permite ajustar a relação de transmissão diminuindo a força necessária para o movimento, tal como acontece nas bicicletas.

A AMFE na capacidade de respostas aos requisitos de cliente (Tabela 33) revela três falhas de termo crítico. O preço de venda elevado é um aspeto que pode comprometer o sucesso comercial do produto. Se o produto não obtiver aceitação do cliente, não irá ser vendido de forma lucrativa. A possibilidade de escolha de componentes mais baratos, ou a redução de componentes (o que reduzirá o número de funções da plataforma), poderá ajudar a baixar o preço de venda, para versões mais básicas do dispositivo. Outro aspeto crítico que compromete a venda do produto é o seu aspeto visual. Um *design* pouco apelativo não irá atrair a atenção de diversos clientes. Deste modo, a oferta de personalização da plataforma será uma medida que irá auxiliar a venda desta, sendo que o cliente poderá escolher a pintura da estrutura, bem como adereços decorativos ou acessório (bagageiras, luzes, decalques, etc). Caso a plataforma resulte numa estrutura de elevado atravancamento, poderá colocar em risco a segurança do utilizador na via pública, bem como dificultar a sua utilização. Nesta situação será necessário rever o projeto por forma a diminuir o volume da plataforma sem comprometer a sua estabilidade. A falha na resposta às necessidades ergonómicas dos utilizadores é uma falha maior, visto que comprometerá o desempenho da plataforma e provocará desconforto ao utilizador. O melhor modo para aperfeiçoar o *design* ergonómico do dispositivo consiste em simular o movimento num protótipo que represente o sistema de propulsão.

5 PROJETO MECÂNICO

Este capítulo refere-se a toda a componente de projeto mecânico associada à conceção da plataforma. Foi realizada a análise por elementos finitos ao *chassis* do dispositivo, foram dimensionadas as rodas dentadas para as engrenagens e também selecionados os parafusos para a caixa de engrenagens.

5.1 ANÁLISE ESTRUTURAL

A ideia básica subjacente ao método dos elementos finito (MEF) é a modelação de um problema genérico que envolve meios contínuos, através da análise de partes discretas desses meios, para os quais é possível conhecer ou obter uma descrição matemática do seu comportamento. Cada elemento discreto – o elemento finito – e as leis matemáticas que regem o seu comportamento contribuem para o conhecimento e a análise do problema global (Teixeira-Dias et al., 2010).

No âmbito da análise estrutural da plataforma foram analisadas, para uma condição de carga representativa da sua utilização, os níveis de tensão instalados na estrutura principal assim como também as flexas em termos de deslocamento da estrutura. Esta análise permitiu identificar as zonas de fator de concentração de tensões.

5.1.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Em todo o processo de preparação e resolução numérica de um problema de engenharia é de vital importância dominar todos os procedimentos de modelação, isto é, de definição de todas as componentes geométricas, das propriedades dos materiais e dos meios envolvidos, das condições de fronteira e das solicitações a que o sistema a simular se encontra sujeito (Teixeira-Dias et al., 2010).

O modelo 3D submetido a análise resulta de todo o processo de modelação realizado em CATIA V5 R19 (ver Figura 91). A geometria obtida pode ser dividida em dois grupos. A parte frontal e a parte traseira. Ambas as partes são constituídas por perfis circulares ligados por soldadura. Os dois grupos serão acoplados por duas cavilhas, que juntam a parte frontal e traseira na zona da junta dobrada.

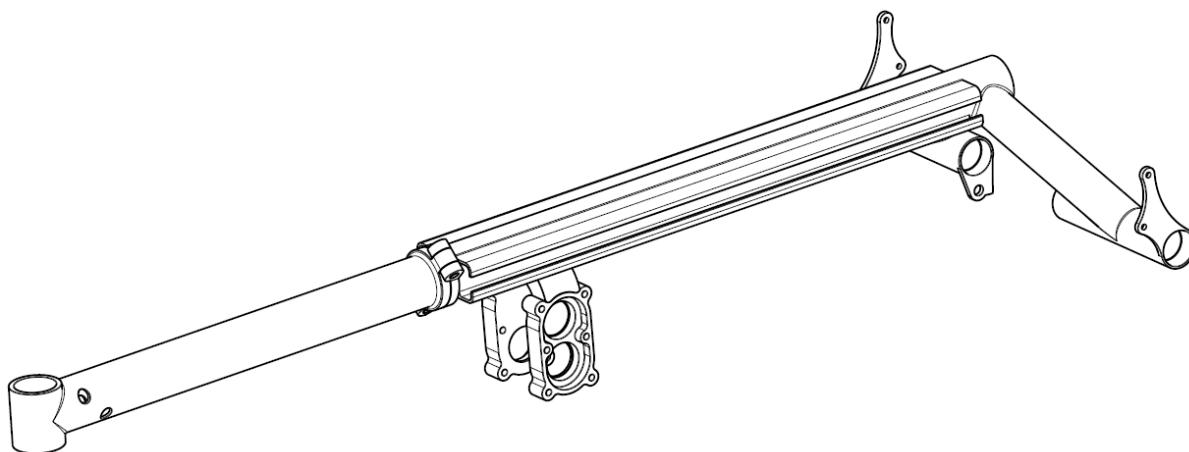


Figura 91 - Geometria da plataforma para análise

O material selecionado para a estrutura da plataforma é o alumínio 6061 T6. É o alumínio mais comumente utilizado para a construção de quadros de bicicletas dado que combina um alto valor de resistência, facilidade de maquinação e boa resistência à corrosão. Outro aspeto positivo é o fato de ser fácil de adquirir. A Tabela 34 contém os valores das propriedades mecânicas deste alumínio, levantados da base de dados digital da *MatWeb*, 2012.

Tabela 34 - Propriedades mecânicas do alumínio 6061 T6

Alumínio 6061 T6	Tensão de cedência (MPa)	Tensão de rutura (MPa)	Tensão limite de fadiga (MPa)	Coeficiente de Poisson	Módulo de Young (GPa)	Densidade (kg/m3)
	275	310	96.5	0.33	68.9	2700

Relativamente às condições de carga, definiu-se que a estrutura estaria apoiada nas suas extremidades. Isto é, na zona da forqueta e nas extremidades do eixo traseiro. A carga aplicada por sua vez estará distribuída por quatro superfícies de contato representativas da área de contato das quatro rodas com as calhas inferiores do sistema de carril. Estas distam 60 e 120 mm,

respetivamente da face de contato entre os *chassis*. A Figura 92 contém o diagrama representativo das condições de carga assumidas.

Foi definido o valor de 2000 N, a serem distribuídos pelas quatro superfícies, que representa o dobro do peso de um utilizador de 100 kg. Esta carga foi definida de modo a contabilizar as forças adicionais provocadas pelo movimento. Isto é, contemplar os efeitos que a irregularidade do piso e toda a cinemática da remada provocam em termos de forças de inércia.

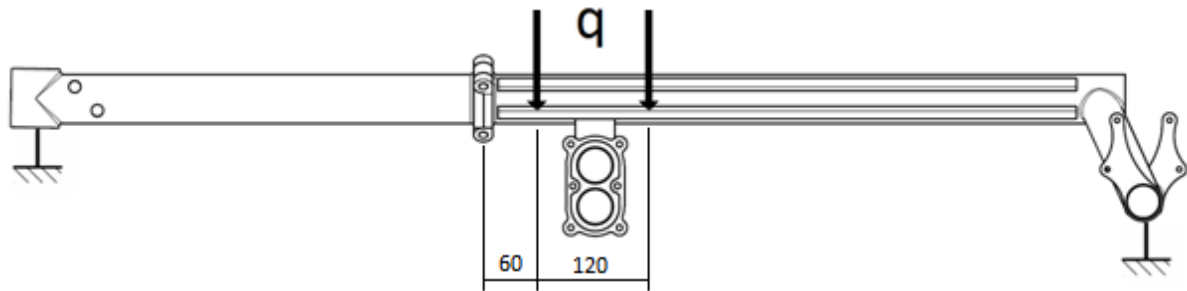


Figura 92 - Condições de carga da simulação

Dado que a geometria da estrutura a analisar é tridimensional, os elementos finitos serão também elementos tridimensionais. O elemento finito tetraédrico oferece vantagens ao nível da construção da malha de elementos finitos, mas apresenta menor exatidão nos resultados obtidos. Atendendo a este fator, e também ao fato de a dimensão média das arestas ter sido definida em 5 mm, foram selecionados elementos tetraédricos parabólicos de 10 nós (ver Figura 93).

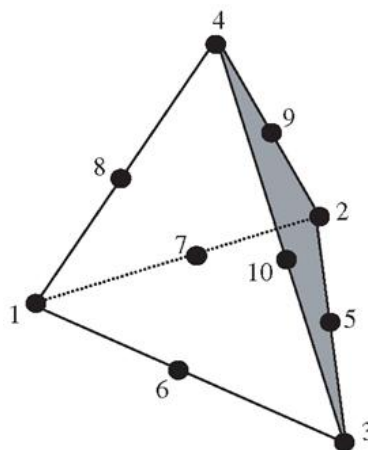


Figura 93 - Elemento finito tetraédrico de 10 nós

[fonte: What When How, 2012]

Resultando assim uma malha de 226750 nós e 121901 elementos. A malha obtida é ilustrada juntamente com as condições de carga na Figura 94.

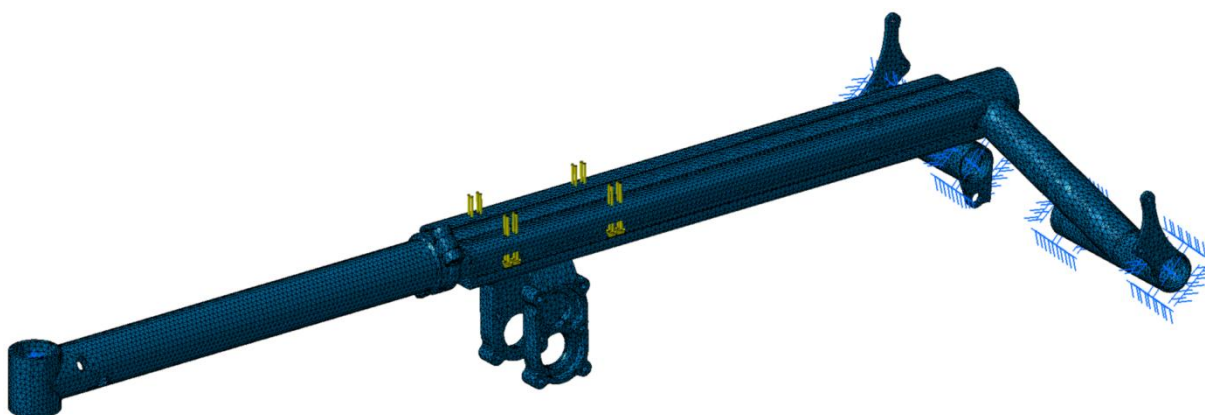


Figura 94 - Malha de elementos finitos e condições de carga

Para a análise da resistência da plataforma às solicitações mecânicas a que será sujeita aquando da sua utilização, serão analisados os valores de deslocamento dos nós e tensões de Von Mises resultantes da simulação numérica. Estes valores serão cruciais para a análise da resistência à fadiga da estrutura.

5.1.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após concluída a simulação numérica segundo as condições anteriormente referidas, procede-se à análise e discussão dos resultados obtidos em termos de flexão e tensões instaladas na estrutura.

Flexão

Os valores de deslocamento dos nós obtidos revelam que o deslocamento máximo ocorre na zona central da plataforma. Este resultado é lógico, dadas as condições fronteira definidas anteriormente. Analisando a Figura 95, é visível a localização dos valores máximos de deslocação, bem como o valor máximo atingido de 1,58 mm. Este valor de flexa é aceitável para a estrutura em questão, não colocando em causa a integridade estrutural da plataforma.

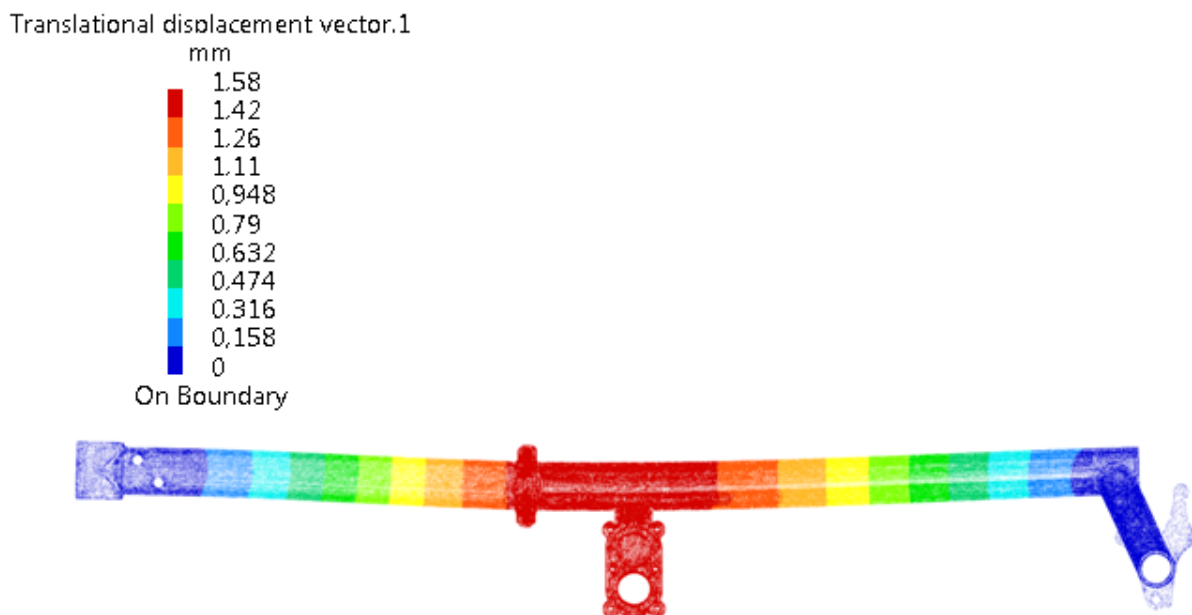


Figura 95 - Deslocamento dos nós

Tensões de Von Mises

Paralelamente à análise de deslocamentos são também analisadas as tensões de Von Mises resultantes na estrutura. Analisando a Figura 96, é visível no gradiente de tensões que estas assumem valores máximos perto dos 92 MPa. Estes valores não se encontram muito distantes do valor de tensão limite de fadiga do material em questão, que é de 96,5 MPa. É de notar que a maior parte da estrutura aguenta de forma eficiente a carga aplicada. Toda a zona a verde corresponde a intervalos de tensões entre 27 e 54 MPa, distantes dos 96,5 MPa de tensão limite de fadiga.



Figura 96 - Simulação numérica da estrutura

No entanto, existe concentração de tensões na zona da forqueta, furos para suporte do apoio de pés e na zona posterior do perfil central (ver Figura 97). Inicialmente foram definidas as condições fronteira de encastramento nas extremidades da estrutura, e também foram definidos elementos finitos de dimensão média de 5 mm. Uma das causas para estas zonas de concentração de tensões está relacionada com a não possibilidade de deslocamento da zona da forqueta e das extremidades do eixo traseiro. Isto leva a que haja elevados valores de momentos nestas zonas, já que não possuem nenhum grau de liberdade. Outro fator está relacionado com a modelação da estrutura. Estes pontos críticos relacionam-se também com mudanças bruscas da geometria, sendo então necessário um aumento de raios de concordância entre as geometrias, juntamente com um possível refinamento da malha de elementos finitos.

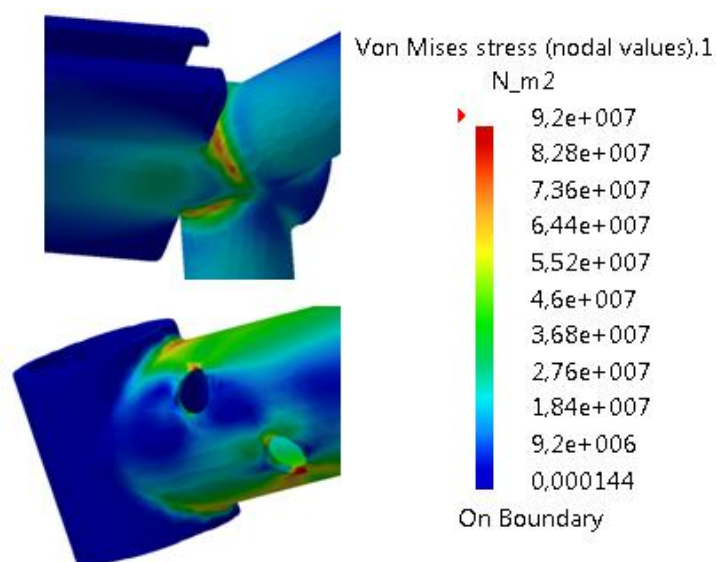


Figura 97 - Concentração de tensões

Inicialmente a zona de maior importância para a análise seria a junta dobrável, dado a sua posição central na estrutura, onde ocorrem maiores valores de flexa. Analisando em pormenor a Figura 98 é visível a concentração de tensões, sendo que os valores máximos de tensões não ultrapassam os 72 MPa, que novamente se encontram abaixo da tensão limite de fadiga. No entanto, também nesta zona surgem casos pontuais de picos de tensões de cerca de 90 MPa, novamente associados ao baixo refinamento da malha e aos ângulos vivos da estrutura.

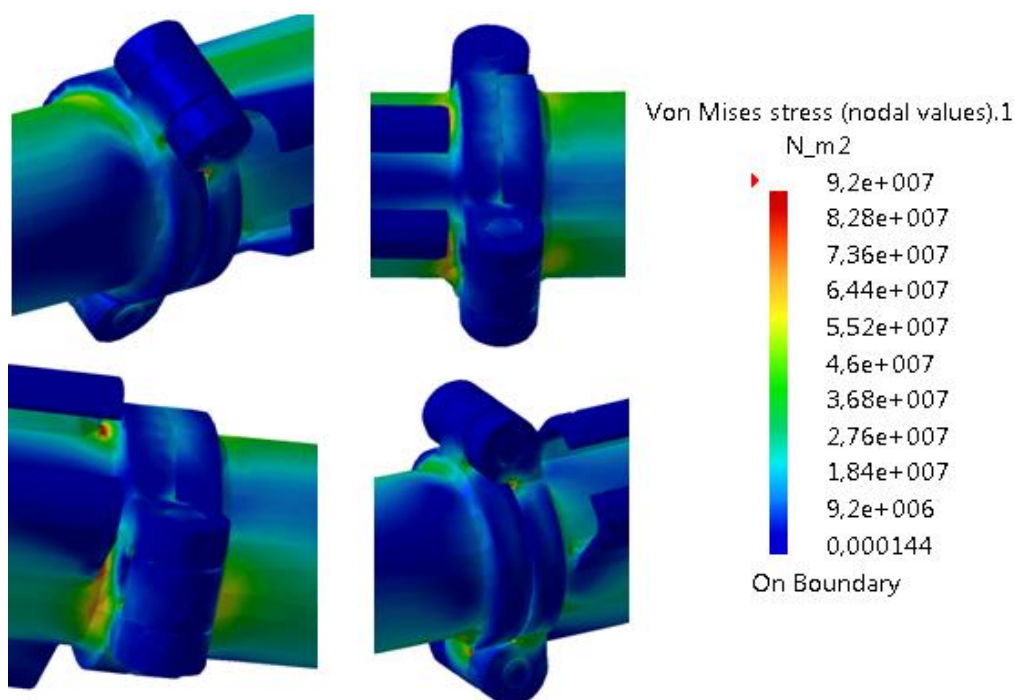


Figura 98 - Tensões na junta dobrável

É importante salvaguardar que nesta análise estrutural não foi levado em linha de conta o tempo de vida útil do dispositivo. Ou seja, apesar de em alguns pontos críticos da estruturas as tensões serem relativamente elevadas, o denominado "limite de fadiga" do material corresponde a um valor de tensão abaixo do qual este suporta um número de ciclos de carga infinito, sem entrar em rutura. Atendendo a este fato, após análise dos valores de deslocamento e tensões instaladas na estrutura, prevê-se então que a estrutura projetada irá aguentar as solicitações de que é alvo durante a sua utilização, num tempo de vida útil finito.

5.2 DIMENSIONAMENTO DE ENGRENAGENS

Dado que no projeto será necessário o recurso a engrenagens para garantir a inversão do movimento de rotação transmitido dos remos para o prato pedaleiro, foram também dimensionadas as respetivas rodas dentadas da engrenagem. O dimensionamento das engrenagens seguiu o método proposto por Henriot, 1982.

A esquematização da engrenagem e condições iniciais encontram-se na Figura 99.

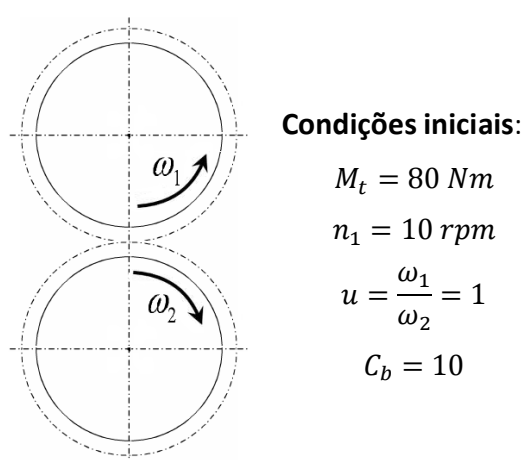


Figura 99 - Esquema das engrenagens

O passo principal do dimensionamento da engrenagem é o cálculo do módulo de engrenamento m_n pela equação 5.1

$$m_n \cong 267 \sqrt[3]{\left(\frac{\cos \beta}{Z_1}\right)^2 \frac{P}{C_b n_1 K_{adm}} \frac{u+1}{u}} \quad (5.1)$$

em que β representa o ângulo de inclinação do dentado, Z_1 o número de dentes da primeira roda dentada, C_b o fator de dimensionamento, K_{adm} o fator de resistência, n_1 a velocidade de rotação da roda dentada em rotações por minuto, u relação de transmissão desejada e P a potência de engrenamento em kilowatts.

O primeiro cálculo a realizar é o da potência transmitida pela engrenagem. Pela equação da potência temos que:

$$P = M_t \omega_2 = 80 \times 10 \times \frac{2\pi}{60} = 83.770 \text{ W} \quad (5.2)$$

Seguidamente através da equação 5.3 procede-se à determinação do fator de resistência

$$K_{adm} = \frac{1}{K_B} C_2 C_3 C_4 C_5 C_6 \quad (5.3)$$

onde K_B é um fator de serviço que depende de outras variáveis (fator de aplicação de carga K_A e fator de duração Z_N) e C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 são coeficientes de dimensionamento a calcular. K_B é definido por

$$K_B = \frac{K_A}{Z_N^2} \quad (5.4)$$

sendo que K_A varia com o nível de flutuação de choque a jusante e a montante da engrenagem. O seu valor é retirado da Tabela 35. Neste caso admitiu-se choque uniforme no acionamento e saída, obtendo-se assim um valor de 1.

Tabela 35 - Valores de K_A , de acordo com o tipo de choque do engrenamento a dimensionar
[fonte: *Moraís, 2010*]

Accionamento	Máquina Accionada			
	U	L	M	H
U - uniforme	1	1.25	1.50	1.75
L - choques ligeiros	1.10	1.35	1.60	1.85
M - choques moderados	1.25	1.50	1.75	2.00
H - choques importantes	1.50	1.75	2.00	≥ 2.25

O fator de duração Z_N é calculado pela equação 5.5 e relaciona o número de ciclos (N) que a engrenagem opera com os coeficientes de dimensionamento m e N_r . Ambos os valores são retirados da Tabela 36. O número de ciclos foi calculado assumindo a utilização da plataforma três vezes por semana durante uma hora, em 52 semanas (1 ano):

$$Z_N = \left(\frac{N_r}{N} \right)^m \quad (5.5)$$

tendo resultado um número de ciclos de

$$10 \text{ rpm} \times 60 \text{ min} \times (1 \text{ hora} \times 3 \text{ dias} \times 52 \text{ semanas}) = 93600 \text{ ciclos} \quad (5.6)$$

Tabela 36 - Valores de m e N_r em função do tipo de engrenagem escolhido
[fonte: *Moraes, 2010*]

Estado	N_r	Ciclos	m
Têmpera ou cementação	$5 \cdot 10^7$	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0756
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0307
Nitruração longa	$2 \cdot 10^6$	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0875
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0191
Nitruração curta	$2 \cdot 10^6$	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0318
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0191

Considerando engrenagens com tratamento de têmpera resulta então,

$$Z_N = \left(\frac{5 \times 10^7}{93600} \right)^{0.0756} = 1.608 \quad (5.7)$$

Assim é possível calcular o fator de serviço

$$K_B = \frac{1}{1.608^2} = 0.387 \quad (5.8)$$

O fator geométrico C_2 é retirado da Tabela 37 e varia em função do ângulo de inclinação do dentado. No caso em estudo, optou-se por engrenagem de dentado reto dado que não se pretendem valores elevados de relação de transmissão. Retira-se então o valor de 0.21.

Tabela 37 - Valor do fator geométrico em função da inclinação do dentado escolhido

[fonte: *Morais, 2010*]

β (graus)	0	5	10	15	20	25	30
C_2	0.21	0.24	0.26	0.27	0.28	0.29	0.31

O fator C_3 refere-se aos efeitos dinâmicos resultantes da velocidade e dos erros dimensionais e geométricos e o fator C_4 á distribuição de carga. No caso em estudo, admite-se dentado reto com qualidade ISO 6. O que resulta no valor de $C_3=0.905$ e $C_4=0.760$. Estes valores são retirados da Tabela 38 e são uma estimativa inicial. A solução proposta deverá ser posteriormente confirmada utilizando os valores corrigidos de C_3 , C_4 , e K_{adm}

Tabela 38 - Valores dos coeficientes C_3 e C_4 .

[fonte: *Morais, 2010*]

Dentado	Qualidade ISO	C_3	C_4
recto	5 e 6	0.905	0.760
	7	0.782	0.741
helicoidal	5 e 6	0.905	0.760
	7	0.812	0.673

Os fatores C_5 e C_6 referem-se à resistência da engrenagem. C_5 é um fator de resistência em função da tensão de ruína à fadiga superficial (σ_{Hlim}) e um fator de relação de dureza (C_w). O seu cálculo é efetuado através da equação 5.8

$$C_5 = \left(\frac{\sigma_{Hlim} C_w}{C_e} \right)^2 \quad (5.8)$$

em que o valor do fator de relação de dureza é igual a 1 e C_e é igual a $190 \text{ MPa}^{1/2}$. Estes valores são escolhidos tendo em atenção o caso em estudo. O pinhão a dimensionar é sujeito aos tratamentos de têmpera superficial. Da Tabela 39 é possível escolher-se o valor da tensão de ruína à fadiga superficial (σ_{Hlim}).

Tabela 39 - Valores da tensão de ruína à fadiga superficial

[fonte: *Morais, 2010*]

Aços	Dureza da roda	σ_{Hlim} (MPa)
Têmpera & Revenido	250 HB	690
	280 HB	730
	350-360 HB	850
Têmpera superficial	53-57 HRC	1200
Nitruração curta duração	52-56 HRC	950
Nitruração longa duração	58-60 HRC	1250
Cementação - alta liga	58-60 HRC	1500

Considerando que o material das rodas dentadas é aço sujeito a têmpera superficial tem-se que

$$C_5 = \left(\frac{12000}{190} \right)^2 = 39.889 \quad (5.9)$$

Dado que foram consideradas engrenagens com tratamento de têmpera superficial, temos que $C_6 = 1$.

Com a determinação de todos os fatores é possível calcular K_{adm}

$$K_{adm} = \frac{1}{0.387} \times 0.21 \times 0.905 \times 0.760 \times 39.889 \times 1 = 14.888 \quad (5.10)$$

De seguida procede-se à determinação do módulo de engrenamento em função do número de dentes Z_1 ,

$$m_n = 267 \times \sqrt[3]{\left(\frac{1}{Z_1} \right)^2 \frac{0,008377}{10 \times 10 \times 14.888} \frac{1+1}{1}} \quad (5.11)$$

$$m_n = \frac{12.890}{Z_1^{2/3}} \quad (5.12)$$

e do valor de diâmetro (equação 5.13) e largura da roda dentada (equação 5.14)

$$m = \frac{2r}{Z} \quad (5.13)$$

$$b = C_b m_n \quad (5.14)$$

Através da equação 5.12 é possível obter vários valores de módulos em função do número de dentes da roda dentada. Foram calculados valores considerando o intervalo 17 e 31 dentes. A Tabela 40 contém os valores obtidos.

Tabela 40 - Cálculo do número de dentes, módulo, diâmetro e largura da roda dentada

Número de dentes	Módulo	Diâmetro (mm)	Largura (mm)
17	1,949	33,143	19,496
18	1,876	33,781	18,767
19	1,810	34,395	18,103
20	1,749	34,988	17,494
21	1,693	35,562	16,934
22	1,641	36,118	16,417
23	1,593	36,657	15,938
24	1,549	37,181	15,492
25	1,507	37,690	15,076
26	1,468	38,186	14,687
27	1,432	38,670	14,322
28	1,397	39,141	13,979
29	1,365	39,602	13,655
30	1,335	40,052	13,350
31	1,306	40,492	13,062

Da Tabela 40 considerou-se o valor de $Z_1 = 28$, tendo sido definido o módulo normalizado $m_n = 1,5$. Assim, resulta um novo valor de diâmetro igual a 42 mm e de largura igual a 15 mm (ver Tabela 41).

Tabela 41 - Valores com módulo normalizado

Número de dentes	Módulo	Diâmetro (mm)	Largura (mm)
28	1.5	42	15

O próximo passo é recalcular os valores de C_3 e C_4 , definidos pelas equações 5.15 e 5.16

$$C_3 = \frac{c_0 + c_1 v_t + c_2 v_t^2 + c_3 v_t^3}{e_0 + e_1 v_t} \quad (5.15)$$

$$C_4 = \frac{1}{K_{H\alpha} K_{H\beta}} \quad (5.16)$$

com o valor de velocidade tangencial

$$v_t = \omega_1 r_1 = \frac{\pi}{3} \times \frac{0.042}{2} = 0.022 \text{ m/s} \quad (5.17)$$

Da Tabela 42 são obtidos os valores dos coeficientes c_i e c_3 .

Tabela 42 - Coeficientes c_i para o cálculo de c_3
[fonte: *Morais, 2010*]

	ISO 5 e ISO 6	ISO 7
c_0	$0.8950 + 1.299 \cdot 10^{-4} Z_1$	$0.7848 + 5.279 \cdot 10^{-4} Z_1$
c_1	$0.01699 - 4.567 \cdot 10^{-4} Z_1$	$0.03257 - 7.321 \cdot 10^{-4} Z_1$
c_2	$-5.840 \cdot 10^{-4} + 1.357 \cdot 10^{-5} Z_1$	$-1.447 \cdot 10^{-3} + 2.847 \cdot 10^{-5} Z_1$
c_3	$6.104 \cdot 10^{-6} - 1.475 \cdot 10^{-7} Z_1$	$1.991 \cdot 10^{-5} - 4.067 \cdot 10^{-7} Z_1$

A Tabela 43 contém os valores de e_0 e e_1 .

Tabela 43 - Coeficientes e_i para o cálculo de e_1
[fonte: *Morais, 2010*]

Dentado	Qualidade ISO	e_0	e_1
Recto	5 e 6	0.9895	$1.849 \cdot 10^{-4} Z_1$
	7	1.0335	$2.449 \cdot 10^{-4} Z_1$
Helicoidal	Todas	1.0	0.0

Os sub fatores para o cálculo de c_4 são obtidos pela Tabela 44.

Tabela 44 - Sub fatores para o cálculo de c_4
[fonte: *Morais, 2010*]

Qualidade ISO	$K_{H\beta}$	Dentado	$K_{H\alpha}$
5 e 6	$1.135 + 0.18(b/d_1)^2 + 2.3 \cdot 10^{-4}b$	recto	1.0
		helicoidal	1.0
7	$1.170 + 0.18(b/d_1)^2 + 4.7 \cdot 10^{-4}b$	recto	1.0
		helicoidal	1.1

Tendo sido considerada qualidade ISO 6, é possível calcular os novos valores de C_3 e C_4

$$C_3 = 0.774 \quad (5.18)$$

$$C_4 = 0.781 \quad (5.19)$$

Assim, o novo valor de K_{adm} é

$$K_{adm} = 21.645 \times C_3 \times C_4 = 13.084 \quad (5.20)$$

Finalmente verifica-se o valor da potência admissível da engrenagem obtida, pela equação 5.21

$$P_{adm} = 5.236 \times 10^{-8} n_1 \frac{u}{u+1} m_n^3 \left(\frac{Z_1}{\cos \beta} \right)^2 C_b K_{adm} \quad (5.21)$$

$$P_{adm} = 5.236 \times 10^{-8} \times 10 \times \frac{1}{1+1} \times 1.5^3 \times \left(\frac{28}{\cos 0} \right)^2 \times 10 \times 13.084 \quad (5.22)$$

$$P_{adm} = 90.600 \text{ W} > 83.770 \text{ W} \quad (5.23)$$

Da equação 5.23 temos que a solução encontrada é válida para a aplicação, visto a potência admissível ser superior à potência de serviço. Serão então necessárias rodas dentadas de dentado reto de 28 dentes, módulo 1.5, largura de 15 mm, de aço de têmpera superficial e dureza entre 53 e 57 HRC.

5.3 DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES APARAFUSADAS

A caixa de engrenagens presente no dispositivo será composta por duas peças ligadas por parafusos, sendo assim necessário dimensionar esta ligação.

Como já referido anteriormente, a caixa inversora conterá uma engrenagem paralela, cujos veios se encontram apoiados em rolamentos. Esta arquitetura não permitirá que haja momento torsor na tampa da caixa inversora, mas sim apenas forças de corte (ver Figura 100). Assim, procedeu-se ao projeto de ligações aparafusadas sujeitas a forças de corte, de acordo com Norton, 2004.

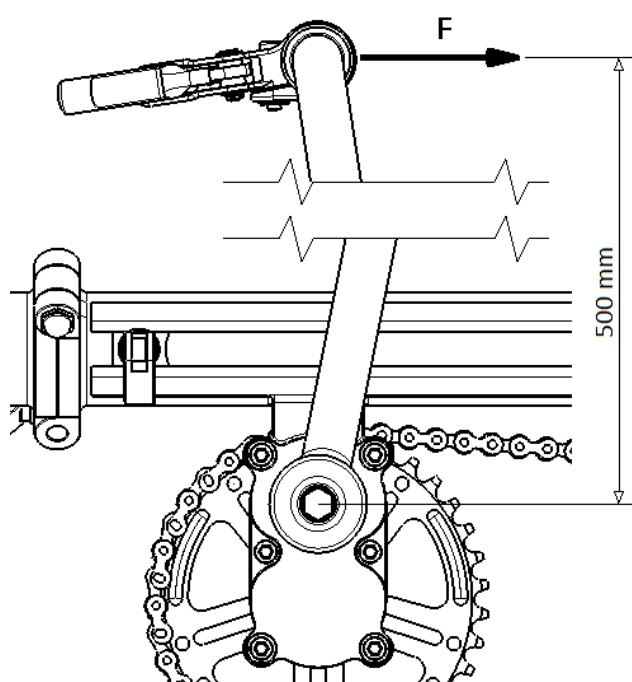


Figura 100 - Diagrama de forças

Considerando a situação limite onde a resistência ao movimento da plataforma é máxima, será então considerada também uma força máxima exercida pelo utilizador de 500 N. Este valor de força foi previamente levantado na análise biomecânica na modalidade desportiva do remo.

Dado que as únicas superfícies de contato entre as peças ligadas são as superfícies da tampa e da parte soldada ao *chassis*, será considerada uma ligação aparafusada de sobreposição simples (ver Figura 101), pré esforçada à torção.

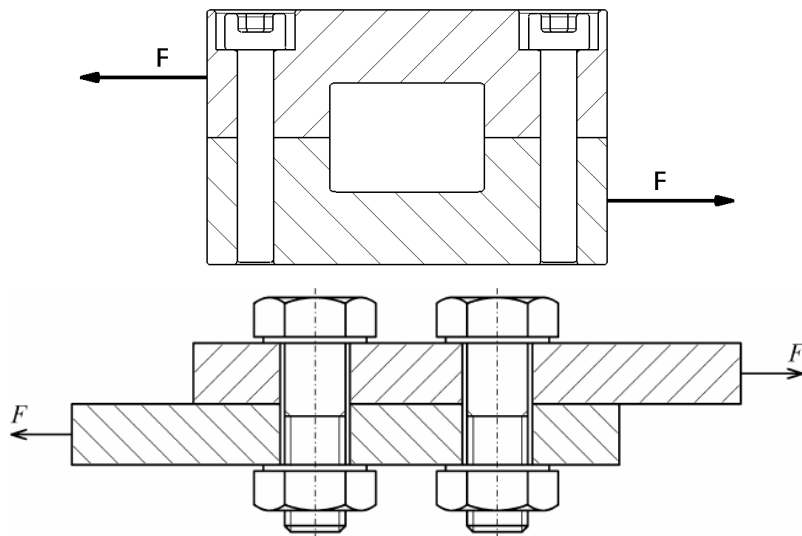


Figura 101 - Juntas de sobreposição simples
[fonte: Moraes, 2010]

Dada a configuração da caixa inversora, a carga não será distribuída uniformemente pelos vários parafusos. Isto porque a carga será aplicada excentricamente em relação ao centroide (centro geométrico) do conjunto de parafusos. A distribuição dos parafusos pela caixa é ilustrada na Figura 102.

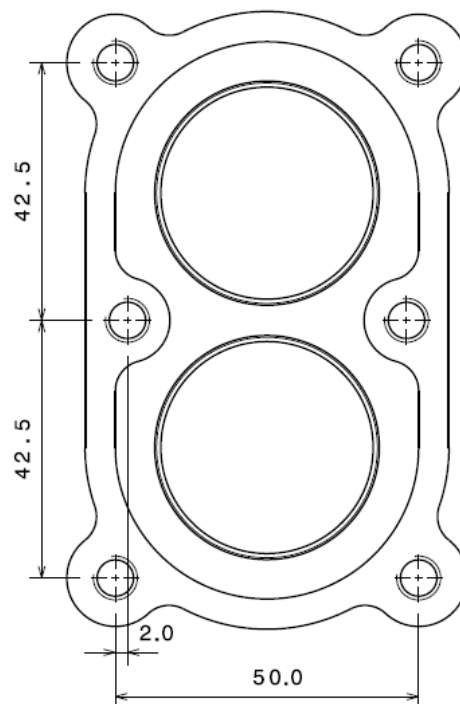


Figura 102 - Posicionamento dos parafusos

Deste modo, para se determinar a força de corte que atua em cada parafuso, é necessário encontrar a localização do centroide do grupo de parafusos.

Considerando três linhas e quatro colunas de parafusos, admitindo que os parafusos terão o mesmo diâmetro, e de acordo com Moraes, 2010, o centroide O é determinado pelas coordenadas:

$$\bar{x} = \frac{n_{1x}x_1 + n_{2x}x_2 + n_{3x}x_3 + n_{4x}x_4}{n_{1x} + n_{2x} + n_{3x} + n_{4x}} \quad (5.24)$$

$$\bar{y} = \frac{n_{1y}y_1 + n_{2y}y_2 + n_{3y}y_3}{n_{1y} + n_{2y} + n_{3y}} \quad (5.25)$$

Onde n_{ix} e n_{iy} representam o número de parafusos na coluna/linha x_i e y_i , respetivamente.

Deste modo calculam-se as coordenadas do centroide pelas equações 5.26 e 5.27.

$$\bar{x} = \frac{2 \times 0 + 1 \times 2 + 1 \times 48 + 2 \times 50}{2 + 1 + 1 + 2} = 25.0 \quad (5.26)$$

$$\bar{y} = \frac{2 \times 0 + 2 \times 42.5 + 2 \times 85}{2 + 2 + 2} = 42.5 \quad (5.27)$$

Dada a situação de aplicação de carga excêntrica, é evidente que a força F aplicada na estrutura dará origem a um esforço de corte H e a um momento torsor M , que será calculado através da distância entre o centroide e o ponto de aplicação da força (ver Figura 103).

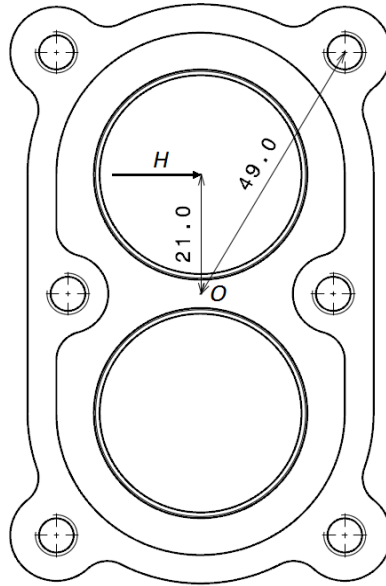


Figura 103 - Distância entre o centroide e o ponto de aplicação da força

É necessário por isso distinguir em cada parafuso i as componentes das forças provocadas em cada um destes por H e M , ou seja, $T_{i,H}$ e $T_{i,M}$.

Primeiramente, distribui-se igualmente a carga H pelos parafusos, pelo que

$$T_{i,H} = \frac{H}{n_b} \quad (5.28)$$

Quanto a M , o equilíbrio estático exige que

$$M = \sum_{i=1}^{n_p} r_i T_{i,M} \quad (5.29)$$

sendo r_i a distância de cada parafuso ao centroide. É intuitivo que a força suportada por cada parafuso é proporcional ao respetivo braço, podendo deduzir-se que

$$T_{i,M} = \frac{M r_i}{\sum_{i=1}^{n_p} r_i^2} \quad (5.30)$$

A Figura 104 ilustra a decomposição de forças nos parafusos.

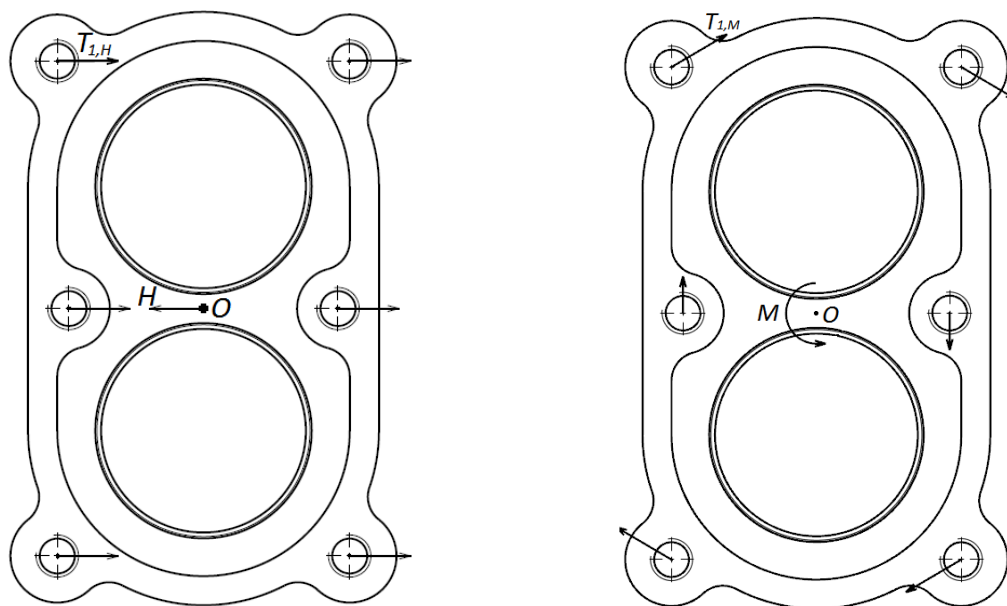


Figura 104 - Decomposição de forças nos parafusos

Analisando a Figura 104, é visível que os dois parafusos da parte superior serão os mais afetados por forças de corte. Procede-se então ao cálculo das cargas aplicadas para o parafuso 1.

Pela equação 5.31 temos que a força resultante da carga direta aplicada resulta em

$$T_{1,H} = \frac{500}{6} = 83.3 \text{ N} \quad (5.31)$$

De seguida é calculada a força de corte resultante do momento M com,

$$M = F \times r_{OH} = 500 \times 0.021 = 10.5 \text{ Nm} \quad (5.32)$$

$$T_{1,M} = \frac{10.5 \times 0.049}{(4 \times (0.049^2) + 2 \times (0.023^2))} = 48.3 \text{ N} \quad (5.33)$$

Por forma a determinar a carga total aplicada no parafuso é necessário somar vetorialmente as componentes $T_{1,H}$ e $T_{1,M}$ (ver Figura 105).

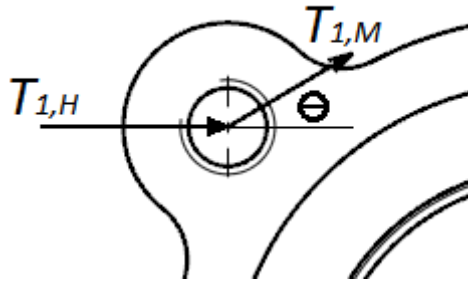


Figura 105 - Vetores das forças de corte

O ângulo θ é determinado pela equação 5.34, tendo em consideração a distância do parafuso em relação ao centroide.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{r_x}{r_y} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{25}{42.5} \right) = 30.5^\circ \quad (5.34)$$

Decompondo a carga $T_{1,M}$ nas componentes segundo x e y, tem-se que

$$T_{1,M_x} = 48.3 \times \cos 30.5^\circ = 41.6 \text{ N} \quad (5.35)$$

$$T_{1,M_y} = 48.3 \times \sin 30.5^\circ = 24.5 \text{ N} \quad (5.36)$$

Deste modo a carga total de corte no parafuso é dada pela equação 5.37

$$T_1 = \sqrt{(T_{1,H} + T_{1,M_x})^2 + T_{1,M_y}^2} = \sqrt{(83.3 + 41.6)^2 + 24.5^2} = 127.3 \text{ N} \quad (5.37)$$

Determinada a carga a que cada parafuso é sujeito, procede-se à determinação da carga limite de escorregamento admissível para o parafuso.

Primeiramente define-se a carga limite de escorregamento segundo a equação

$$F_s \approx 0.24 F_m n_b n_s \quad (5.38)$$

onde F_m é a força de compressão exercida em média por parafuso (neste caso serão desprezadas as forças de tração, o que resulta que F_m é igual a F_i), n_b é o número de parafusos, n_s é o número de planos de escorregamento (1 para juntas de sobreposição simples).

Considerando 6 parafusos M5 de classe 8.8 procede-se então ao cálculo da pré-carga,

$$F_i = \mu_i A_s \sigma_{ob} \quad (5.39)$$

com,

$$\mu_i = 0.90 \text{ ou } 0.75 \text{ (parafusos reutilizáveis)} \quad (5.40)$$

Tabela 45 - Passo (mm) e área resistente (mm²) da rosca de passo normal

[fonte: Morais, 2010]

d	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36
p	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2	2.5	3	3.5	4
A_s	8.78	14.2	20.1	36.6	58.0	84.3	115	157	245	353	561	817

$$\sigma_{ub} = 100 \times 8 = 800 \text{ MPa} \quad (5.41)$$

$$\sigma_{ob} = 0.8 \times 0.800 = 640 \text{ MPa} \quad (5.42)$$

Tem-se que,

$$F_s = 0.24 \times (0.90 \times 14.2 \times 640) \times 1 \times 1 \quad (5.43)$$

$$F_s = 1963.0 \text{ N} > 127.3 \text{ N} \quad (5.44)$$

Pela equação 5.44 constata-se então que os parafusos selecionados (6 parafusos M5 de classe 8.8) servem como solução, dado que a carga limite de escorregamento é inferior à força de corte aplicada no parafuso.

5.4 DESENHO TÉCNICO

Na fase final do projeto procedeu-se à elaboração dos respetivos desenhos técnicos da plataforma, de acordo com Simões Morais, 2007.

No Anexo IV encontram-se os desenhos de conjunto da plataforma. Foram elaborados desenhos em perspetiva do dispositivo, bem como desenhos de pormenor nas zonas mais importantes (caixa de direção, caixa inversora, eixo traseiro).

No Anexo V seguem os esquemas de montagem do produto. Neste anexo encontra-se um desenho em perspetiva explodida juntamente com os desenhos de montagem dos módulos associados (apoio de pés, caixa de direção, caixa inversora, eixo traseiro, posto do utilizador, remos).

Os desenhos de definição dos vários componentes seguem no Anexo VI onde é possível encontrar os desenhos com a cotagem e toleranciamento de cada componente. Neste anexo seguem os desenhos de definição da caixa inversora e respetiva tampa e veios das engrenagens, dos remos, e do *chassis* e junta dobrável.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O estado da atual sociedade leva a que cada vez mais os indivíduos procurem métodos de locomoção alternativos aos veículos a motor. Dada a frequente subida de preços dos combustíveis, aumento de impostos sobre os veículos, diminuição do poder económico dos cidadãos, aumento dos níveis de poluição ambiental, etc., os veículos elétricos e a pedal têm vindo a ser uma opção cada vez mais adotada pela sociedade. Esta temática económico-ambiental motivou a proposta desta dissertação, tendo a particularidade de que a plataforma de mobilidade a desenvolver iria replicar para a sua propulsão o movimento efetuado pelos atletas do remo. Este modo de propulsão manual pretendeu responder aos vários objetivos definidos na proposta de trabalho, tais como o facto de poder ser utilizado/configurado para a utilização de pessoas com limitações funcionais ao nível dos membros inferiores e ao mesmo tempo poder ser utilizado como veículo de lazer e de condicionamento físico.

Através do estudo de mercado realizado, foram encontradas diversas soluções de mobilidade urbana não poluente. Contextualizando a análise da concorrência para o segmento de produto em desenvolvimento, foram selecionadas as plataformas de bicicletas/triciclos, dobráveis e não dobráveis, a pedal e manuais e também cadeiras de rodas. De forma mais exaustiva foram pesquisados dispositivos que para locomoção recorressem também ao movimento de remada. Foram encontrados poucos produtos sendo estes apenas comercializados no estrangeiro. A nível de mercado nacional, a grande maioria dos produtos encontrados são plataformas de duas rodas, sendo que a nível de mercado estrangeiro existe a oferta de veículos a pedais de três rodas e de acionamento manual. A nível de preços de venda, os triciclos para adulto de posição reclinada e os veículos de acionamento manual para deficientes motores são as plataformas com os preços mais elevados. Neste contexto a plataforma de mobilidade individual desenvolvida no âmbito desta dissertação parece traduzir-se numa oportunidade para o mercado nacional e mesmo o seu conceito associado ao movimento da remada é bastante inovador.

Através da análise biomecânica comparativa entre as modalidades de remo, ciclismo e propulsão de cadeiras de rodas, foi possível justificar a proposta inicial para o produto. A análise permitiu concluir que o movimento de remada gera maiores forças a nível de membros inferiores e membros superiores, do que o movimento de pedalar e de acionar a cadeira de rodas, respetivamente. Desta análise surgiu a janela de oportunidade para o sucesso do produto, na medida em que o tradicional movimento de acionamento de cadeiras é muito pouco eficiente em termos energéticos. A sequência deste movimento recorre a músculos pequenos que serão solicitados repetidamente, provocando fadiga e desgaste nas articulações. Adicionalmente foram encontrados casos onde o remo adaptado surge como método de condicionamento físico, bem como um excelente exercício anímico para o indivíduo.

Todo o processo de desenvolvimento da plataforma seguiu uma metodologia que teve em consideração todos os aspetos ligados ao produto desde o cliente às especificações técnicas passando pelo *design* industrial e arquitetura até as ferramentas do *design* robusto. Esta metodologia permitiu desenvolver o produto de uma forma integradora permitindo que o maior esforço fosse centrado nos aspetos mais relevantes do produto. Procedeu-se assim à identificação das necessidades dos clientes através de inquéritos escritos distribuídos a colegas de curso e a atletas do clube de remo "Os Galitos". Depois de analisar toda a informação obtida nos questionários foram definidas as especificações técnicas da plataforma e gerados conceitos do produto. Estes conceitos foram testados junto dos indivíduos que haviam sido inquiridos, através de protótipos virtuais, tendo sido registadas as suas respostas. Seguidamente foi definida a arquitetura da plataforma e projetado o *design* industrial e de fabrico do produto. Após toda a fase de desenvolvimento visual e projeto mecânico da estrutura e componentes, foi definido um plano de experiências e realizada a análise de modo de falha e efeito do dispositivo. No momento em que foi encontrada a proposta final do produto procedeu-se à realização de protótipos visuais em modelação 3D, e também à construção de uma maquete à escala de 1:6 para materialização do projeto.

A proposta final do produto levou à evidência da aplicabilidade do conceito, dado que responde à maioria das necessidades definidas pelos inquiridos. De todo o trabalho de inquérito, investigação e desenvolvimento de produto, conclui-se que o dispositivo será mais viável como plataforma de uso desportivo e/ou lazer, do que propriamente como plataforma de mobilidade urbana, não excluindo esta última hipótese. De forma a responder à vertente da mobilidade urbana foi realizado um esforço adicional para que a plataforma ocupasse o menor volume possível

e fosse o mais leve possível, no entanto apesar de não ser impossível é de prever que, por exemplo, o seu transporte num transporte público como o vulgar autocarro será pouco prático. Ficou também patente a sua possível utilização por indivíduos com limitações físicas ao nível dos membros inferiores, sendo que neste caso, a cadeira de apoio terá de ser fixa e a direção assegurada pela travagem individual de cada uma das rodas posteriores por forma a assegurar a manobra do veículo.

No âmbito do preço estimado para a plataforma, parâmetro de suficiente importância para o cliente e para uma potencial empresa interessada no seu fabrico e comercialização, parece bastante elevado principalmente quando comparado com o custo de outros meios de mobilidade tais como uma bicicleta ou triciclo comum, no entanto o preço estimado foi bastante penalizado pelo fato de este ter sido estimado com base nos preços dos componentes comprados à unidade e não em quantidade onde os descontos comerciais podem ser significativos e fazer a diferença. Igualmente o processo de produção das peças específicas como o estrutura principal assim como a montagem foram também valores estimados para a produção de uma unidade, pelo que no caso de ser fabricada uma série de plataformas, estes custos podem também ser reduzidos. Em resumo, existe um elevado potencial de redução do preço estimado que não querendo ser especulativo poderá representar uma redução entre 30 a 50% para a produção de um lote económico, o que neste caso corresponderá à quantidade de vendas estimada num ano em Portugal ou seja as 371 unidades. Neste caso a diferença de preço para os meios mais convencionais, como a bicicleta, será mais competitiva e as novas funções e a diferenciação conseguida em termos de conceito podem justificar para o cliente um custo adicional.

No âmbito de trabalhos futuros, uma proposta passa obrigatoriamente pela conceção de um sistema mais simples e elementar para a caixa de inversão/transmissão do movimento da remada à corrente de transmissão, pois a solução utilizada na proposta atual é complexa envolvendo a utilização de duas engrenagens, o que contribui para um custo e peso adicional que nada favorece a solução final. Aqui, eventualmente uma solução de apenas uma engrenagem ou então uma solução de braços oscilantes com o princípio biela-manivela poderão ser suficientes. Seria também interessante contatar fabricantes especializados em estruturas e componentes em alumínio, de modo a refletir sobre os processos e componentes, levando a uma eventual diminuição do custo de fabrico. Outra proposta de trabalho futuro seria a utilização de um *software* para análise da cinemática e da dinâmica da plataforma de forma a avaliar-se a estabilidade da plataforma em condições dinâmicas extremas, e logo o nível de segurança

proporcionado ao seu utilizador, como também quais os limites de utilização da plataforma. Eventualmente com estas simulações será possível verificar qual a relação entre a posição das três rodas de apoio e centro de gravidade do utilizador que maximizam a estabilidade da plataforma. Finalmente, outro trabalho futuro passaria pela construção de um modelo à escala real de modo a avaliar a sua eficiência, a satisfação dos utilizadores e também servir como meio de apresentação e promoção a potenciais interessados na sua fabricação e comercialização.

7 REFERÊNCIAS

- Agência Europeia do Ambiente. (2011). *Página da Agência Europeia do Ambiente*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.eea.europa.eu/pt/pressroom/newsreleases/o-setor-dos-transportes-europeu>
- Amazon. (2012). *Página da Amazon*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.amazon.com>
- Arezes, P. M. (2006). *Estudo Antropométrico da População Portuguesa*. Lisboa: Instituto para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho.
- Armbike. (2012). *Página da Armbike*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.armbike.org>
- Aveimédica. (2012). *Página da Aveimédica*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.aveimedica.pt/>
- Azub. (2012). *Página da Azub*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.azub.eu>
- Back, N., Dias, A., & Silva, J. C. (2008). *Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem*. Santa Catarina: Manole.
- Baptista, R. R. (2005). *Aspectos fisiológicos da produção de força em remadores*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BH Fitness. (2012). *Página da BH Fitness*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.bhfitness.es>
- Bicycle Designer. (2012). *Página da Bicycle Designer*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.bicycledesigner.com/>
- Bike Europe. (2011). *European Bicycle Market (2010 statistics)*. Brussels: Colibri-Coliped.
- Bike Zone. (2012). *Página da Bike Zone*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.bikezone.pt/>
- Boninger, M. L., Cooper, R. A., Baldwin, M. A., Shimada, S. D., & Koontz, A. (1999). Wheelchair Pushrim Kinetics: Body Weight and Median. *American Congress of Rehabilitation Medicine*, 910-914.
- Bullock, G., Cabraloff, D., Hickman, J., Mico, M., Netcher, L., & Ward, D. (2009). *A qualitative analysis of the biomechanics of proper pedal stroke*.

Championot. (2012). *Página da Championot*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.championot.com>

Colloud, F. (2002). *Kinematic symmetry in rowing: comparison of fixed stretcher versus free-floating ergometer*. Extremadura: ISBS.

Coluer. (2012). *Página da Coluer*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.coluer.com>

Concept2. (2012). *Página da Concept2*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.concept2.com>

Cooper, R., Boninger, M., & Robertson, R. (1998). Heavy Handed: Repetitive strain injury among manual wheelchair users. *TeamReab Report* , 35-38.

Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M., et al. (1991). *Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance*. Texas: American College of Sports Medicine.

Csillag, J. M. (1995). *Análise do valor: metodologia do valor*. São Paulo: Atlas.

Decathlon. (2012). *Página da Decathlon*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.decathlon.pt/PT/>

Di Blasi. (2012). *Página da Di Blasi*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.dibiasi.it>

Dinares, C. (2012). *World Class Rowing*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.carlosdinares.com/carlos-dinares-tip-296-rowing-bending-arms-versus-straight-arms/>

Dronda, F. M., Romero, L. M., Canseco, J. R., & Cía, G. I. (2011). *Análisis básico del movimiento. Técnica del remo*. Navarra: Universidad Pública de Navarra.

Energias de Portugal. (2011). Mais de metade do consumo energético familiar é gasto no transporte. *ecoNews* .

Ericsson, M. O., Nisell, R., & Németh, G. (1988). Joint Motions of the Lower Limb during Ergometer Cycling. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , 273-278.

Ferrel, O., & Hartline, M. D. (2011). *Marketing Strategy*. Mason: Cengage Learning.

Fitness Network. (2012). *Página da FitnessNetwork*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.fitnessnetwork.co.za/rowing-machine/waterrower/oartec-slider-rowing-machine>

Greenspeed. (2012). *Página da Greenspeed*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.greenspeed.com.au>

Grupo Ferpinta. (2012). *Página do Grupo Ferpinta*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.ferpinta.pt/>

Guthrie, M. (2008). *Basic wheelchair biomechanics*. Washington: University of Washington.

Hannah, B. (2004). *Becoming a Product Designer*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Hase. (2012). *Página da Hase*. Obtido em 06 de 2012, de hasebikes.com

- Health Clubs at Home. (2012). *Página da Health Clubs at Home*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.healthclubsathome.com>
- Henriot, G. (1982). *Traité Theorique et Pratique des Engrenages*. Paris: DUNOD éditeur.
- Hesselbach, J., & Herrmann, C. (2011). *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing*. Braunschweig: Springer.
- Hill, A. V. (2012). *The Encyclopedia of Operations Management: A Field Manual and Glossary of Operations Management Terms and Concepts*. New Jersey: Pearson Education.
- HP Velotechnik. (2012). *Página da HP Velotechnik*. Obtido em 2012, de <http://www.hpvelotechnik.com>
- Imarket. (2012). *Man in a wheelchair*. Obtido em 06 de 2012, de http://www.imarket.pt/modules/com_ninjaxplorer/man-in-a-wheel-chair-512.html
- Invacare. (2012). *Página da Invacare*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.invacare.pt>
- ISB. (2012). *Página da ISB*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.isb-bearing.it/ita/>
- Kettler. (2012). *Página da Kettler*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.kettlerusa.com>
- Klemmer, P. (2007). *Modular product architecture - Fostering or hindering innovation?* Norderstedt: GRIN Verlag.
- Kleshnev, V. (2006). Rowing Biomechanics. *BioRow* , 1-18.
- Kloosterman, M., Eising, H., Schaake, L., Buurke, J. H., & Rietman, J. S. (2012). *Comparison of shoulder load during power-assisted and purely hand-rim wheelchair propulsion*. Enschede: Elsevier.
- Kroemer, K. H., Kroemer, H. J., & Kroemer-Elbert, K. E. (2012). *Engineering Physiology: Bases of Human Factors Engineering/ Ergonomics*. New York: Springer.
- Lanema. (2012). *Página da Lanema*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.lanema.pt/>
- Limberg, T. (2008). *Examining Innovation Management from a Fair Process Perspective*. Frankfurt: Springer.
- Lin, C.-J., Lin, P.-C., Guo, L.-Y., & Su, F.-C. (2010). Prediction of applied forces in handrim wheelchair propulsion. *Journal of Biomechanics* , 455-460.
- Love These Pics. (2012). *35 Wildly Wonderful Wheelchair Design Concepts*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.lovethepics.com/2012/09/35-wildly-wonderful-wheelchair-design-concepts/>
- Mardi Coers, C. G. (2001). *Benchmarking: A Guide for Your Journey to Best-Practice Processes*. Texas: APQC.
- Marti, M. (2007). *Complexity Management: Optimizing Product Architecture of Industrial Products*. Wiesbaden: DUV.

- MatWeb. (2012). *Aerospace Specification Metals*. Obtido em 06 de 2012, de <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>
- Mazzone, T. (1988). Kinesiology of the rowing stroke. *NSCA Journal* , 4-13.
- Mobo. (2012). *Página da Mobo*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.asaproducts.com>
- Morais, A. B. (2010). Textos de apoio às aulas de Sistemas Mecânicos.
- Morrow, D., Guo, L. Y., Zhao, K. D., Su, F., & An, K. N. (2003). A 2-D model of wheelchair propulsion. *Disability and rehabilitation* , 192-196.
- Moto Classe. (2012). *Página da Moto Classe*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.motoclasse.com/>
- Mountain Trike. (2012). *Página da Mountain Trike*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.mountaintrike.co.uk>
- Muller, R. (2012). *Rob Muller - USA Cycling Level 2 Power Based Coach*. Obtido em 06 de 2012, de <http://coachrobmuller.blogspot.pt/2008/12/perfect-pedal-stroke.html>
- Norton, R. L. (2004). *Projetos de máquinas*. Porto Alegre: Bookman.
- Oartec. (2012). *Página da Oartec*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.oartec.com>
- Órbita. (2012). *Página da Órbita*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.orbita-bicicletas.pt>
- Park, S. H., & Antony, J. (2008). *Robust Design for Quality Engineering and Six Sigma*. Singapore: World Scientific.
- Pato Cycles. (2012). *Página da Pato Cycles*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.patocycles.com/site/>
- Peak. (2012). *Página da Peak*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.peakbearings.com/>
- Pixelate Studio. (2012). *Sport photos cycling*. Obtido em 06 de 2012, de http://www.pixelatestudio.com/cycling_photos.htm
- Poison Bikes. (2012). *Página da Poison Bikes*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.poison-bikes.net/>
- Poli, C. (2001). *Design for Manufacturing: A Structured Approach*. Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Pro Bike Shop. (2012). *Página da Pro Bike Shop*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.probikeshop.pt/>
- Qüer. (2012). *Página da Qüer*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.bicicletasquer.com>
- Rodgers, M. M., Keyser, R. E., Rasch, E. K., Gorman, P. H., & Russell, P. J. (2001). Influence of training on biomechanics of wheelchair. *Journal of Rehabilitation Research & Development* , 505-511.

Rota Mobility. (2012). *Página da Rota Mobility*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.rotamobility.com>

Rowbike. (2012). *Página da Rowbike*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.rowbike.com>

Rowingbike. (2012). *Página da Rowingbike*. Obtido em 06 de 2012, de <http://rowingbike.com>

Samagaga. (2012). *Página da Samagaga*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.samagaga.com/>

Shimada, S. D., Robertson, R. N., Bonninger, M. L., & Cooper, R. A. (1998). Kinematic characterization of wheelchair propulsion. *Journal of Rehabilitation Research and Development* , 210-218.

Shimano. (2012). *Página da Shimano*. Obtido em 06 de 2012, de http://online-store.shimano.com/goods_en_JPY_1.html

Silva, S. D. (2009). *Estudo da correlação dos valores de força absoluta e relativa, com os tempos dos 500, 1000 e 2000 metros em remo ergómetro*. Porto: Faculdade de Desporto Universidade do Porto.

Simões Morais, J. (2007). *Desenho Técnico Básico*. Porto: Porto Editora.

SKF. (2012). *Página da SKF*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.skf.com/portal/skf/home>

Source BMX. (2012). *Página da Source BMX*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.sourcebmx.com/>

Sport-On. (2012). *Página da Sport-On*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.offroadhandcycle.com>

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. Milwaukee: ASQ.

Steinacker, J. (1993). Physiological aspects of training in rowing. *Internacional Journal of Sports Medicine* , 3-10.

Tavares, A. (2005). *Transportes e Saúde*. Amadora: Serviço de Saúde Pública.

Teixeira-Dias, F., Pinho-da-Cruz, J., Fontes Valente, R., & Alves de Sousa, R. (2010). *Método dos Elementos Finitos - Técnicas de Simulação Numérica em Engenharia*. Lisboa: ETEP.

Ulrich, & Eppinger. (2008). *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill.

What When How. (2012). *In Depth Tutorials and Information*. Obtido em 06 de 2012, de <http://what-when-how.com/the-finite-element-method/fem-for-3d-solids-finite-element-method-part-3/>

Wikipatents. (2012). *Página de patentes*. Obtido em 06 de 2012, de <http://www.wikipatents.com>

ANEXO I

(Tabelas de Benchmarking)

	MARCA	CATEGORIA	MODELO	PESO	MATERIAL		RODAS	TRAVÕES	Pedaleiro	Mudanças	PREÇO
					QUADRO	AROS					
Sportzone	KX	Bicicleta	Sporty MX	-	Aço	Alumínio	26'	V-brake	3v	6v	79,99
	BERG		Viper WCS	20.1	Alumínio 6061	Alumínio	26'	Avid Elixir 5 hidráulicos	Truvativ Hussefelt (38D)	Sram X7	2290
	BERG		Easy 1,5 V2	15	Aço	Alumínio	20'	V-BRAKE	Mono Prato	SHIMANO TZ50 6V	149,9
	BERG		Crosstown	11.5	Alumínio Hidroforme	Alumínio	26'	Shimano M445 hidráulicos	SHIMANO ALIVIO FC-M430	SHIMANO ALIVIO 3x9v	399,9

	MARCA	CATEGORIA	MODELO	PESO	MATERIAL		RODAS	TRAVÕES	Pedaleiro	Mudanças	PREÇO
					QUADRO	AROS					
Decathlon	b'Twin	Bicicleta	Rockrider 5.0	-	Aço Hi Tem	Alumínio	26'	V-Brake	-	SRAM 21v	139
			Rockrider 6.0	-	Aço S.I.X.	Alumínio	26'	V-Brake	-	SRAM 21v	250
			Original 3	-	Aço Hi Tem	Alumínio	26',28'	V-Brake	-	SRAM 21v	185
			Original 7	-	Alumínio 6061	Alumínio	26',28'	V-Brake	-	SRAM 21v	229
			Elops City	-	Aço Hi Tem	Alumínio	28'	V-Brake	-	Mono-velocidade	169
			Elops 4	-	Alumínio 6061	Alumínio	28'	V-Brake	-	Shimano Nexus 3v (Cubo)	309
		Desdobrável	B' Fold 20	13,8	Aço Hi Tem	Alumínio	20'	V-Brake	-	Mono-velocidade	149,95
			Hoptown 7	-	Alumínio 6061	Alumínio	20'	V-Brake	-	Shimano Nexus 7v (Cubo)	499,95

	MARCA	CATEGORIA	MODELO	PESO	MATERIAL		RODAS	TRAVÕES	Pedaleiro	Mudanças	PREÇO
					QUADRO	AROS					
Órbita	Órbita	Bicicleta	Warrior	-	Aço	Alumínio	26'	V-Brake	Shimano	Shimano TY18 18v	151
			Stealth	14,25	Alumínio	Alumínio	26'	Shimano hidráulicos	Shimano	Shimano DEORE 27v	563
			Strada	-	Aço	Alumínio	26'	V-Brake	Shimano	Shimano TY18 18v	203
			Séc XXI	-	Alumínio 7005	Alumínio	28'	V-Brake	Shimano	Shimano TY18 18v	355
		Desdobrável	Eurobici	-	Aço	Alumínio	20'	V-Brake	Shimano	Shimano TY18 18v	169
			Articulada	-	Alumínio 7005	Alumínio	20'	V-Brake	Shimano	Shimano TX30 7v	231
		Triciclo	Carga	32,5	Aço	Alumínio	20'	Roller Brake	Shimano	Shimano Nexus 3v (Cubo)	507

	MARCA	CATEGORIA	MODELO	MATERIAL	RODAS		TRAVÕES	Mudanças		PREÇO
					QUADRO	Frete		Cassete	Manípulos	
Rowbike	Rowbike	Bicicleta	720 Sport	Alumínio 7005	20'	20'	Tektro V-Brakes	Shimano 7v	Microshift	1100
			726 King	Alumínio 7005	24'	26'	Tektro V-Brakes	Shimano 7v	Microshift	1200

	MARCA	CATEGORIA	MODELO	PESO	MATERIAL		RODAS	TRAVÕES	Pedaleiro	Mudanças	PREÇO
					QUADRO	AROS					
roda de ideias	Coluer	Triciclo	Cargo Lux	-	Alumínio 6061	Alumínio	20"	V-Brake + Tambor	Alumínio 38D	Shimano TY-18 6v	475,9
			Flavour	-	Alumínio 6061	Alumínio	20"	V-Brake + Tambor	Alumínio 38D	Shimano TY-18 6v	419
			Quer	-	Aço	Alumínio	20"	V-Brake + Tambor	-	Shimano TY-18 6v	388,5

	MARCA	CATEGORIA	MODELO	PESO	MATERIAL	RODAS		TRAVÕES	Pedaleiro	Mudanças		PREÇO
					QUADRO	Fronte	Trás			Cassete	Manípulos	
Hostel Shoppe Recumbents	Catlike	Triciclo	Villager	15	Alumínio	20"	20"	Avid BB5 Mecânicos	Truvativ Touro 30/42/52t 165mm	SRAM PG-950 9v	SRAM X.7	1500
			Expedition	16	Alumínio	20"	26"	Avid BB7 Mecânicos	Truvativ Touro 30/42/52t 165mm	SRAM PG-950 9v	Shimano Dura-Ace	2000
	Greenspeed		GT1 II	17	CroMo 4130	16"	16"	Sturmey Archer Tambor	Pro Wheel 52/42/30t 170mm	Shimano HG 11-30t 8v	Shimano Dura-Ace	1500
			X5	17	CroMo 4130	16"	16"	Hidráulicos	Shimano 105 50/39/30t 165mm	Greenpeed 9-32t 9v	Shimano Dura-Ace	2700
	Hase		Kettwiesel Allround	18	Alumínio	20"	20"	Avid BB5 Mecânicos	Speedwheel 52t	SRAM PG-970 11-34t 9v	SRAM Centera Twist	2400
			Kettwiesel Allround EcoSpeed	-	Alumínio	20"	20"	Avid BB7 Mecânicos	TruVativ Touro 52t	SRAM PG-970 11-34t 9v	SRAM Centera Twist	5500
	HP Velotechnik		Gekko fx	16	Alumínio 7005	20"	20"	Avid BB5 Mecânicos	Truvativ Touro 30/39/50t 170mm	SRAM 11-32t 8v	SRAM Twist	1800
			Scorpion fs	18	Alumínio 7005	20"	20"	Avid BB7 Mecânicos	Sugino 46t	SRAM 11-32t 8v	SRAM X.7	3300
	Sun		EZ3 USX HD	29	Aço Hi Tem	20"	20"	Mecânicos	Alloy 52/42/30t 170mm	-	Sram MRX	1200
			X3 AX	-	Alumínio 7005	20"	20"	Mecânicos	Sun Bicycles Alloy 52/42/30t 170mm	Sram 11-32t 8v	Sram MRX	1400
	ICE		Sprint 1	16	Alumínio 7005	20"	20"	Avid BB7 Mecânicos	TruVativ Touro 30/42/52 170mm	SRAM PG 950 11-32t 9v	SRAM xS Twist	2000
			Adventure FS Plus	18	Alumínio 7005	20"	20"	Tektro Auriga Hidráulicos	Truvativ Firex 26/36/48 170	ICE Capreo 9-32 9v	Shimano Dura Ace	3300
	Volae		Tour	14	CroMo 4130	20"	26"	Avid SD5 V-Brake	TruVativ Touro 30/42/52t 170mm	SRAM PG-950 11-32t 9v	SRAM X.7	1200
			Century ES	13	CroMo 4130	20"	26"	Avid BB7 Mecânicos	TruVativ Elita 3.3 30/39/52t 170mm	SRAM PG-950 11-32t 9v	SRAM X.9	2200
	RANS		Enduro Sport	14	CroMo 4130	20"	26"	Tektro M530 V-Brake	Truvativ Blaze 44/32/22t 170mm	SRAM 950 11-32t 9v	SRAM X5	1200



Yes, you can.®

INVACARE PORTUGAL II, Lda
Rua da Estrada Velha, nº 949 - 4465-784 - Leça do Balioo – Portugal
Portugal@invacare.com - www.invacare.pt

Tabela de preços indicativos - Configurações Bases Cadeiras Desporto Top End - 2010

		PRP
ELMOSR	Eliminator OSR Racing Chair	3.650 €
PSSA	Paul Schulte aluminum BB chair	2.800 €
PSST	Paul Schulte titanium BB chair	3.850 €
SWSA	T-5 aluminum tennis chair	2.450 €
SWST	T-5 titanium tennis chair	3.500 €
SPBB	Semi-Pro basketball wheelchair	2.300 €
SPTN	Semi-Pro tennis wheelchair	2.300 €
TRAF	Transformer wheelchair	2.500 €
TED	Terminator wheelchair (aluminum 1/15/08)	2.750 €
TEDTI	Terminator Titanium wheelchair	3.100 €
CRFA	CrossFire wheelchair, aluminum (built at Top End)	2.500 €
CRFT	CrossFire wheelchair, titanium (built at Top End)	3.000 €
CRFAT	CrossFire All Terrain wheelchair, aluminum	3.000 €
LXC	L7i Excelerator Handcycle	2.450 €
XCL	Excelerator Handcycle	2.500 €
XLTJR	XLT Junior Handcycle	2.750 €
XLT	XLT Excelerator Handcycle	2.900 €
XLTPRO	XLT Pro Handcycle	3.700 €
FRC	FORCE handcycle	4.250 €
FRCG	FORCE-G handcycle	4.350 €
FRCK	FORCE-K handcycle	4.950 €
FRCR	FORCE-R handcycle	4.950 €



ELMOSR



PSSA



T5



TRAF



XCL



FRC

Nota 1 : Estes preços são meramente indicativos. Preço final a confirmar individualmente pois está dependente de configuração/acessórios necessários

Nota 2 : É obrigatório preenchimento de formulário com medidas para perfeita personalização da cadeira.

Nota 3 : Disponibilizamos suporte técnico para tirar medidas e aconselhamento de acessórios para cada caso e cada modalidade desportiva.



	C H A I R S			
Model	Ti All Court	All Court	Ti Match Point	Match Point
Material	Titanium	Aluminum	Titanium	Aluminum
Product Weight	21.5 lbs	24 lbs	20 lbs	22.5 lbs
Width	12"-20"	12"-20"	12"-20"	12"-20"
Depth/Length	10"-20"	10"-20"	10"-18"	10"-18"
Height	16"-21"	16"-21"	16"-21"	16"-21"
Weight Capacity	250 lbs	250 lbs	250 lbs	250 lbs
Camber Options	16° or 20°	16° or 20°	16° or 20°	16° or 20°
Front Seat Height	16"-21"	16"-21"	16"-21"	16"-21"
Rear Seat Height	13"-21"	13"-21"	13"-21"	13"-21"
# of Color Options	23	23	23	23
Anti-Tip Style	Single (std), Double	Single (std), Double	Single	Single
Support	Anti-tip brace	Anti-tip brace	Anti-tip brace	Anti-tip brace
Chest Straps	2", 4"	2", 4"	2", 4"	2", 4"
Wheel Type	Spinergy, Heat Treated, Cross Spoke	Spinergy, Heat Treated, Cross Spoke	Spinergy, Heat Treated, Cross Spoke	Spinergy, Heat Treated, Cross Spoke
Wheel Size	24", 26"	24", 26"	24", 26"	24", 26"
Key Option	Wing w/ standup	Wing w/ standup	extra wide 'footprint'	extra wide 'footprint'
Backrest	Folding, Non-Folding	Folding, Non-Folding	Folding, Non-Folding	Folding, Non-Folding

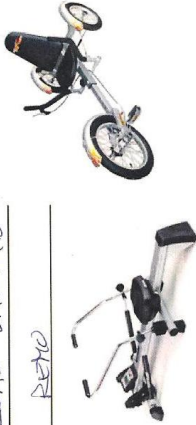


	S H A R K S	
Model	Shark	Shark S
Product Weight	33 lbs	30 lbs
Seat Width	14.8", 16.4", 17.9"	14.8", 16.4", 17.9"
Depth/Length	40.2"	40.2"
Height	8.6"	8.6"
Frame Width	15", 16.5", 18"	14"-18"
Weight Capacity	265 lbs	265 lbs
Rear angle adjust	30°-90°, 7 Basic, 3 fine settings	30°-90°, 7 Basic, 3 fine settings
Crank Length/Height	6.89"	6.89"-8.46"
Gear Speeds	7", 27"	27"
Gears	Sram S7™, Sram™5.0	Sram X9™
Brake	Shimano-Tiagra™	Shimano-Ultegra™
Back	adjust, foldable	adjust, foldable
# of Color Options	26	26

ANEXO II

(Inquéritos e *Post-its*)

Nome: JOÃO LAGARDO
 Modalidade: RETO



REQUISITOS INDISPENSÁVEIS
<p>AJUSTE DA FORÇA PÉS SEGUROS, LIBERTAR FÁCIL MEDIR DA REMADA / DISTÂNCIA EQUILIBRIE</p>

REQUISITOS MUITO IMPORTANTES
<p>AGENTE CONFORTÁVEL PUNTOS ERGONOMIQUES, SIMULAÇÃO DO REMO</p>

REQUISITOS IMPORTANTES

Comprar o tridlo caso respondesse aos seus requisitos?
 Não ☐ Provavelmente ☒ Sim ☐

Até que preço compraria o tridlo? 100 €

⇒ SER ADAPTADO
 A VARIAS CONDIÇÕES
 FISICAS E IDADES
 ⇒ SER LEVE
 ⇒ SER SEGURO
 ⇒ SER TRANSPORTAVEL
 ⇒ SER BARATO
 ⇒ FÁCIL DE ARMAZENAR

- Material resistente capaz
 de resistir as forças
 - baixo custo
 - fácil armazenamento
 - fácil utilização




Tridlo a Remos

- Regulabilidade
- Portabilidade
- Robustez
- Segurança
- Baixo custo
- Adaptabilidade a pessoas
 e determinadas dificuldades (por
 exemplo pessoas muito
 pequenas)

ANEXO III




(Matriz QFD)

Primeira Matriz da Qualidade (casa da qualidade)

Correlação entre as variáveis e o cliente																		
																		
Comprimento (uso)																		
Largura (uso)																		
Altura (uso)		+																
Altura banco ao solo		++	++															
Largura do banco		+																
Comprimento (arrumo)																		
Largura (arrumo)																		
Altura (arrumo)																		
Peso máximo utilizador						+												
Peso do veículo		-	-	-			-	-	-	+								
Diâmetro rodas dianteiras					+					-								
Diâmetro rodas traseiras					+					-								
Velocidades														+				
Ângulo das rodas			++	++	-					+				+				
Comprimento do carril		+																
Distância pés/banco		+													+			
Níveis de força																		
Rigidez do quadro		+	+	+							++	--		++				
Direcionador de melhoria >>>>	▼	▼	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	▲	▼	○	○	▲	○	○	▲	▲

●	Forte	9
○	Moderado	3
△	Fraco	1

Correlação		
++		Posit. Forte
+		Posit. Fraco
		Inexistente
-		Neg. Fraca
--		Neg. Forte

Direcionador de melhoria	
	não importa a variação do valor
	quanto maior o valor melhor
	quanto menor o valor melhor

As células marcadas dessa cor
são calculadas automaticamente

[illegible]

Plano (valor meta)	130	70	50	40	45	70	50	30	120	20	20	8	10	0	60	50	5	70
Valor marginal	-	-	-	-	40	-	-	-	100	-	16	6	7	0	60	50	-	70
Valor máximo	150	80	80	50	50	130	70	50	-	30	26	10	-	10	65	65	-	200

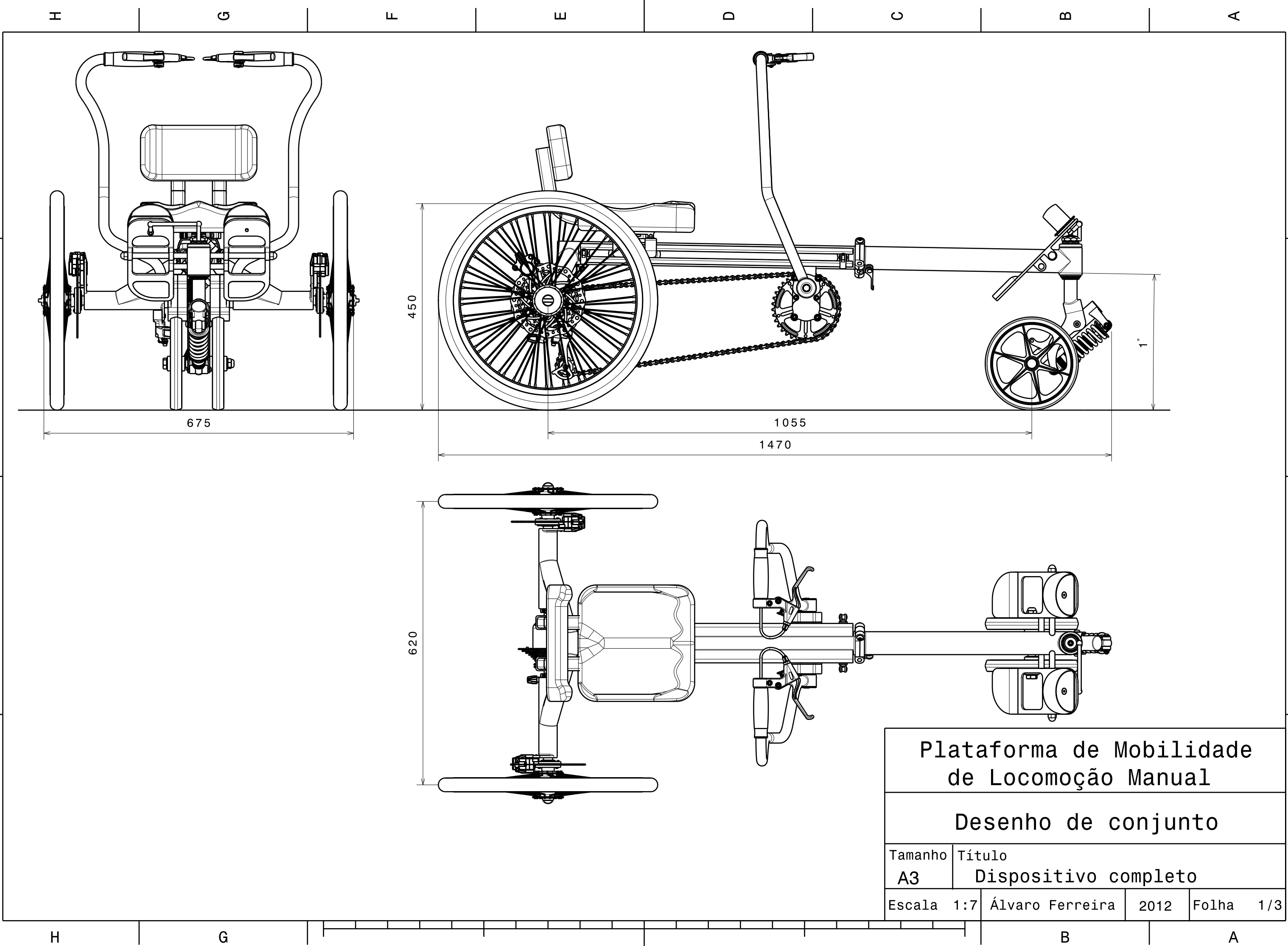
[illegible]

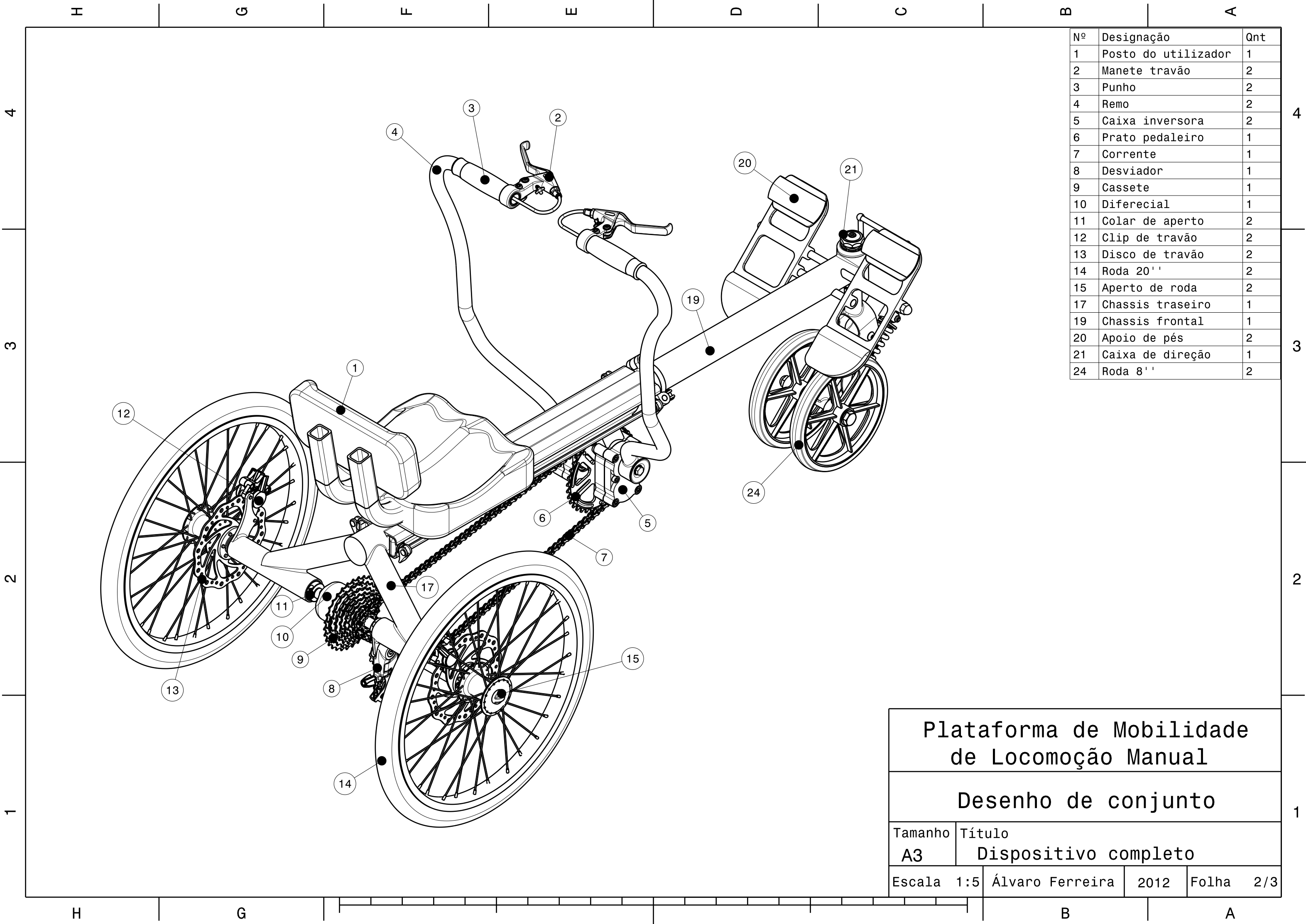
RP: Requisitos do Produto (Qualidade Projetada / Características Técnicas do Produto)

Escala Likert	1	2	3	4	5
Cr�terio de Kano	L	O	E		
Argumento de venda	1	1,2	1,5		

ANEXO IV

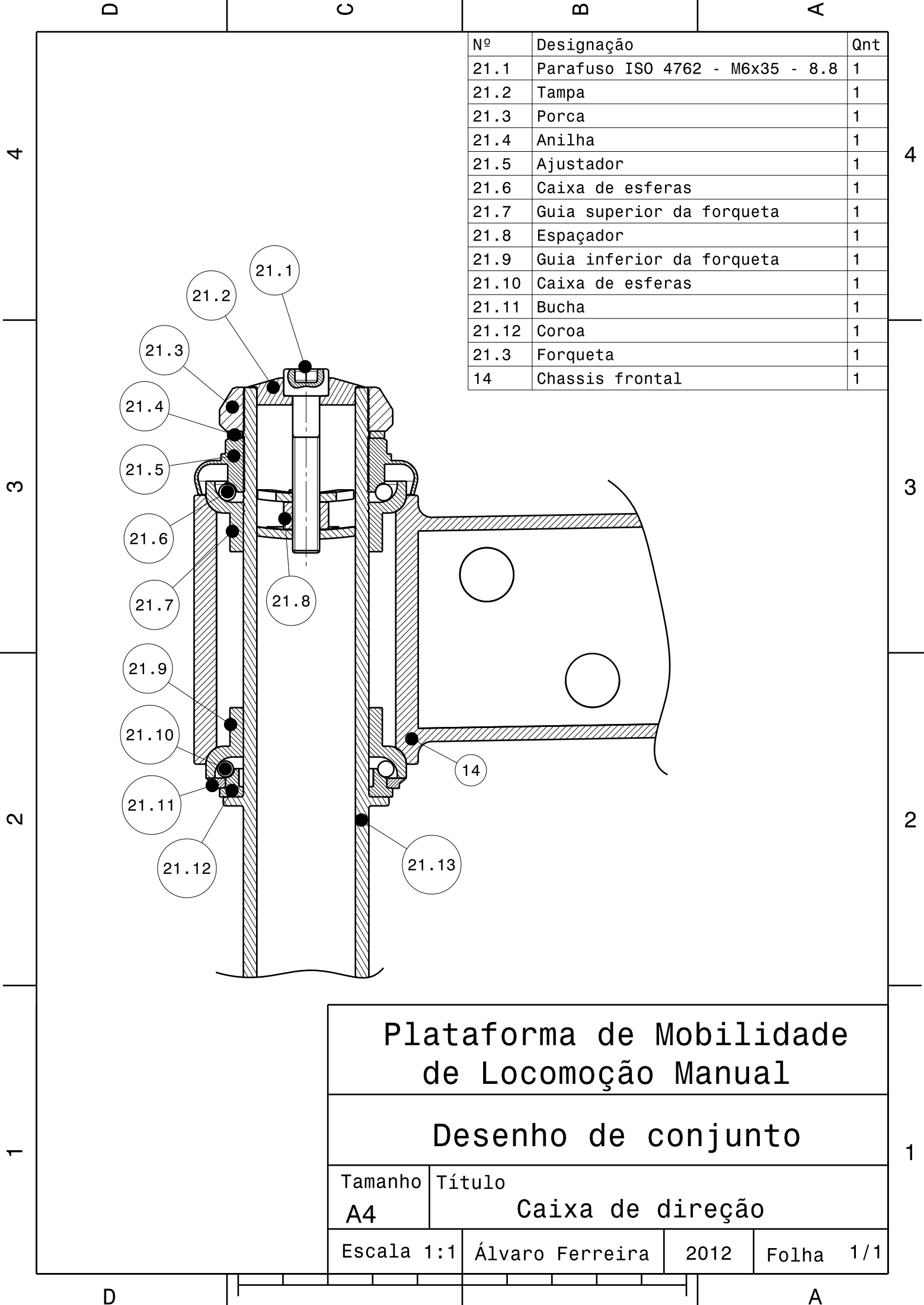
(Desenhos de Conjunto)





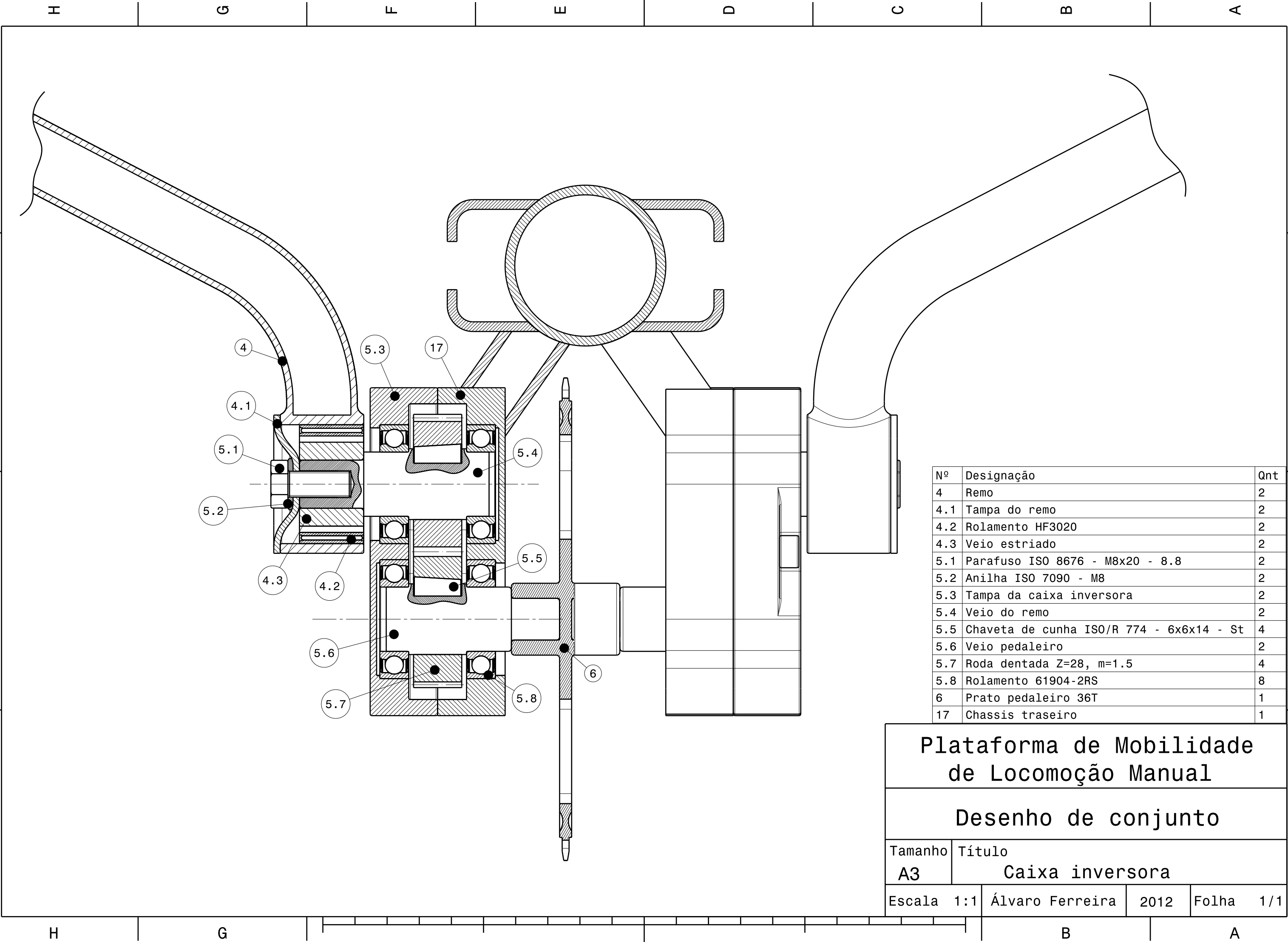
Nº	Designação	Qty
1	Posto do utilizador	1
2	Manete travão	2
3	Punho	2
4	Remo	2
5	Caixa inversora	2
6	Prato pedaleiro	1
7	Corrente	1
8	Desviador	1
9	Cassete	1
10	Diferecial	1
11	Colar de aperto	2
12	Clip de travão	2
13	Disco de travão	2
14	Roda 20''	2
15	Aperto de roda	2
17	Chassis traseiro	1
19	Chassis frontal	1
20	Apoio de pés	2
21	Caixa de direção	1
24	Roda 8''	2

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de conjunto				
Tamanho	Título			
A3	Dispositivo completo			
Escala	1:5	Álvaro Ferreira	2012	Folha 2/3



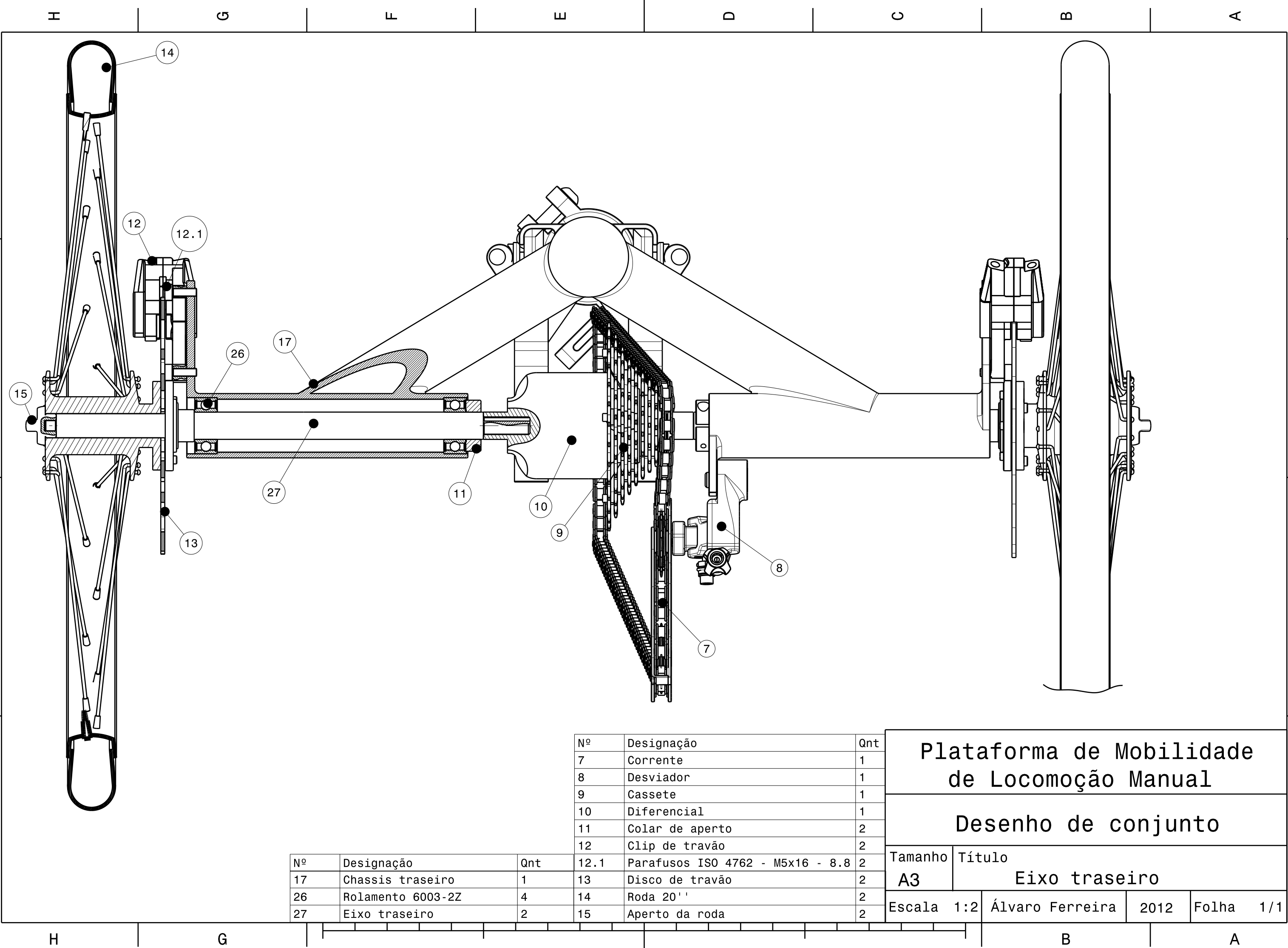
Nº	Designação	Qty
21.1	Parafuso ISO 4762 - M6x35 - 8.8	1
21.2	Tampa	1
21.3	Porca	1
21.4	Anilha	1
21.5	Ajustador	1
21.6	Caixa de esferas	1
21.7	Guia superior da forqueta	1
21.8	Espaçador	1
21.9	Guia inferior da forqueta	1
21.10	Caixa de esferas	1
21.11	Bucha	1
21.12	Coroa	1
21.3	Forqueta	1
14	Chassis frontal	1

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual			
Desenho de conjunto			
Tamanho A4	Título Caixa de direção		
Escala 1:1	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1



Nº	Designação	Qty
4	Remo	2
4.1	Tampa do remo	2
4.2	Rolamento HF3020	2
4.3	Veio estriado	2
5.1	Parafuso ISO 8676 - M8x20 - 8.8	2
5.2	Anilha ISO 7090 - M8	2
5.3	Tampa da caixa inversora	2
5.4	Veio do remo	2
5.5	Chaveta de cunha ISO/R 774 - 6x6x14 - St	4
5.6	Veio pedaleiro	2
5.7	Roda dentada Z=28, m=1.5	4
5.8	Rolamento 61904-2RS	8
6	Prato pedaleiro 36T	1
17	Chassis traseiro	1

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de conjunto				
Tamanho	Título			
A3	Caixa inversora			
Escala	1:1	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1



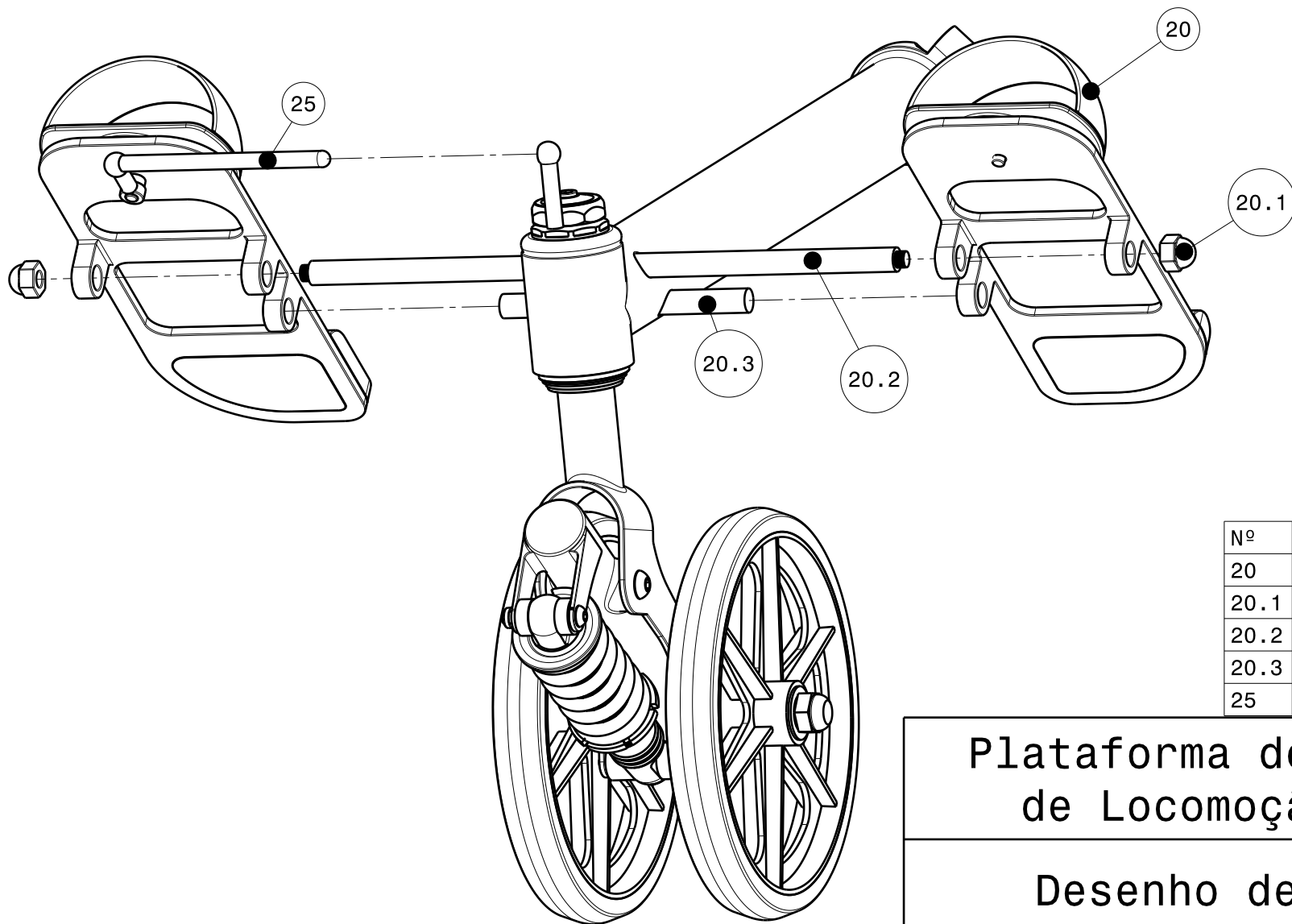
Nº			Designação	Qnt
7			Corrente	1
8			Desviador	1
9			Cassete	1
10			Diferencial	1
11			Colar de aperto	2
12			Clip de travão	2
12.1			Parafusos ISO 4762 - M5x16 - 8.8	2
13			Disco de travão	2
14			Roda 20''	2
15			Aperto da roda	2

Nº	Designação	Qnt
17	Chassis traseiro	1
26	Rolamento 6003-2Z	4
27	Eixo traseiro	2

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de conjunto				
Tamanho	Título			
A3	Eixo traseiro			
Escala	1:2	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1

ANEXO V

(Desenhos de Montagem)

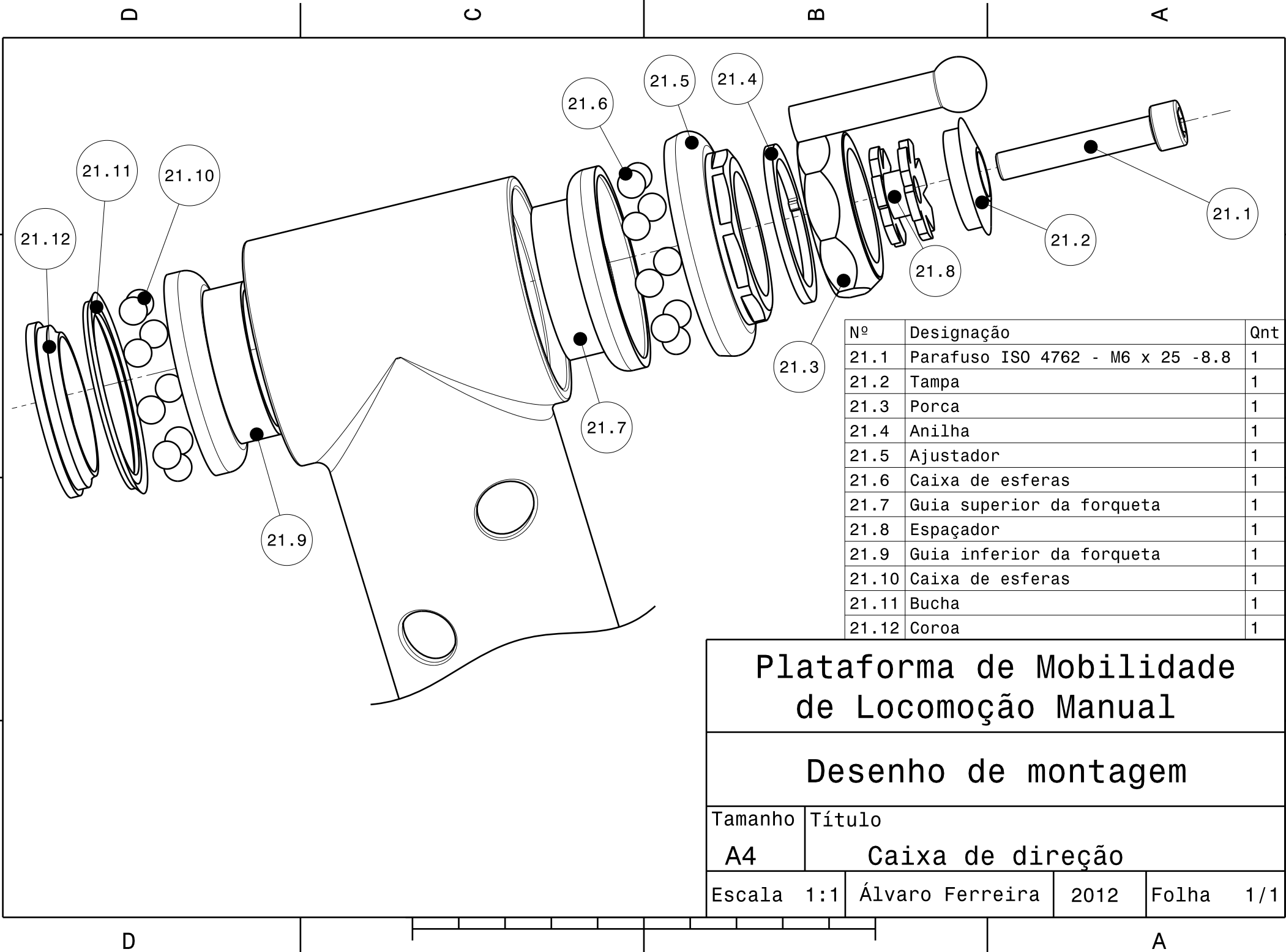


Nº	Designação	Qtd
20	Apoio de pés	2
20.1	Porca DIN 1578 - M8	2
20.2	Veio de apoio de pés	1
20.3	Fixador de apoio de pés	1
25	Haste de direção	1

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual

Desenho de montagem

Tamanho	Título			
A4	Apoio de pés			
Escala	1:3	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1

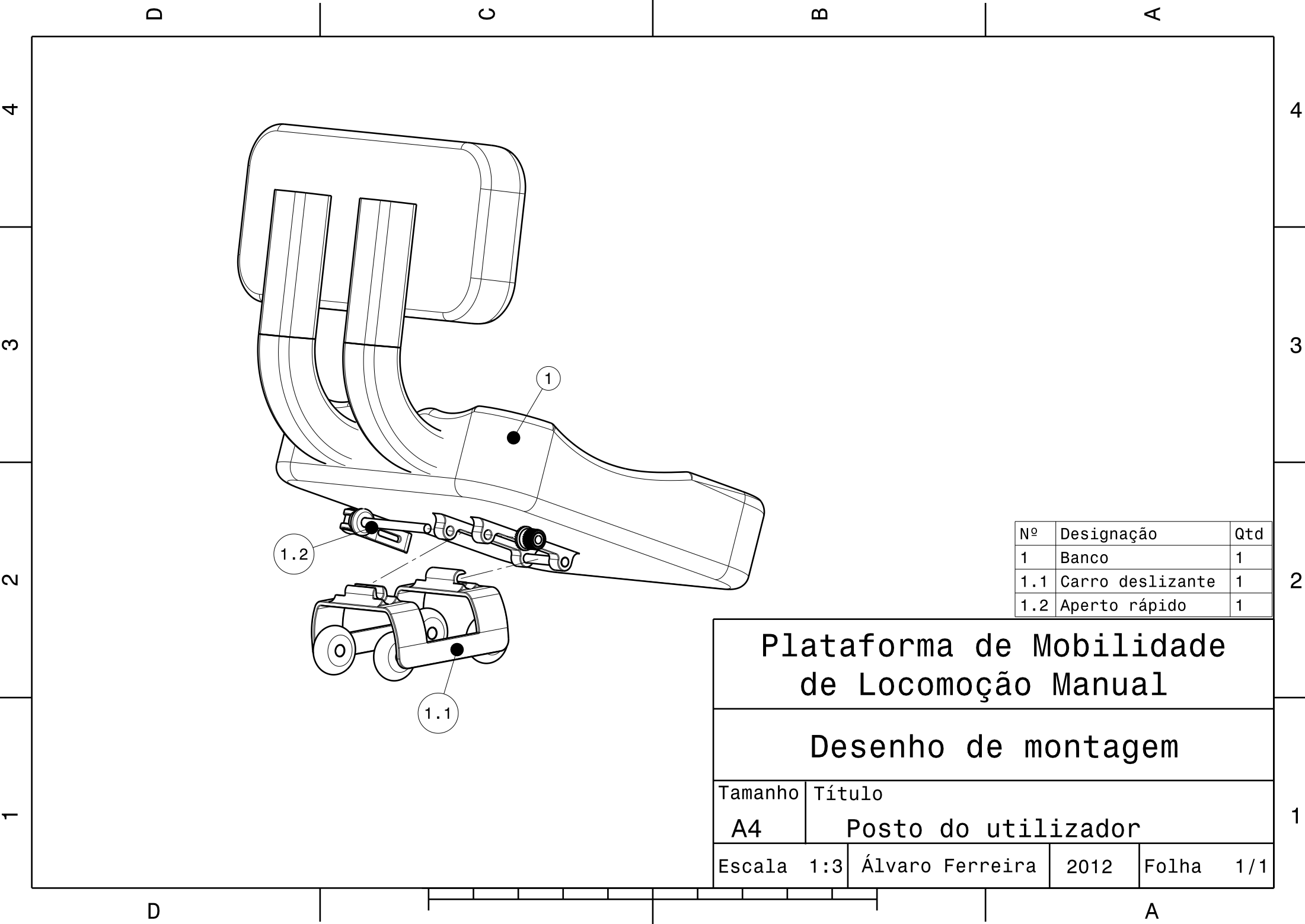


Nº	Designação	Qty
21.1	Parafuso ISO 4762 - M6 x 25 -8.8	1
21.2	Tampa	1
21.3	Porca	1
21.4	Anilha	1
21.5	Ajustador	1
21.6	Caixa de esferas	1
21.7	Guia superior da forqueta	1
21.8	Espaçador	1
21.9	Guia inferior da forqueta	1
21.10	Caixa de esferas	1
21.11	Bucha	1
21.12	Coroa	1

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual

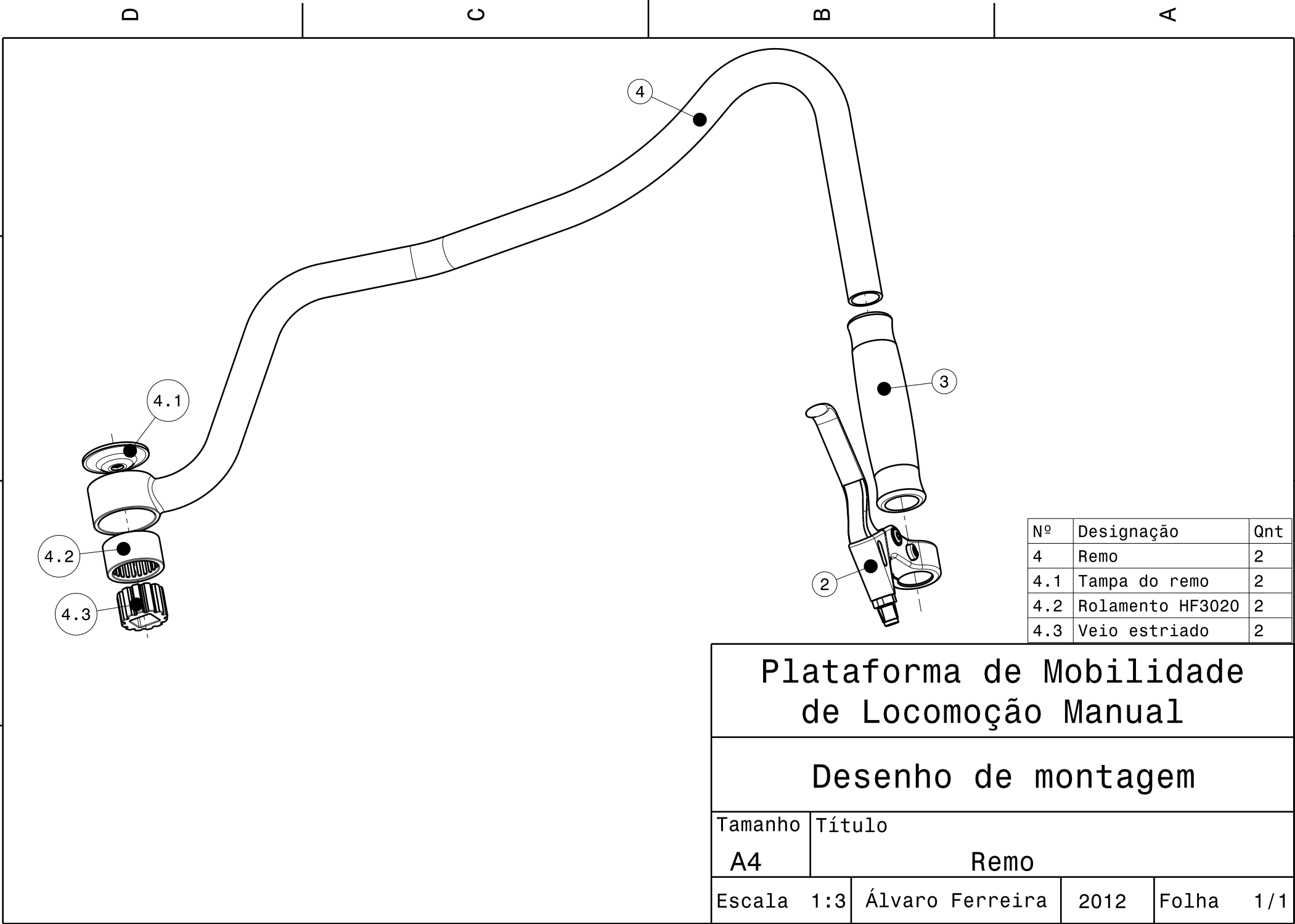
Desenho de montagem

Tamanho	Título			
A4	Caixa de direção			
Escala	1:1	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1



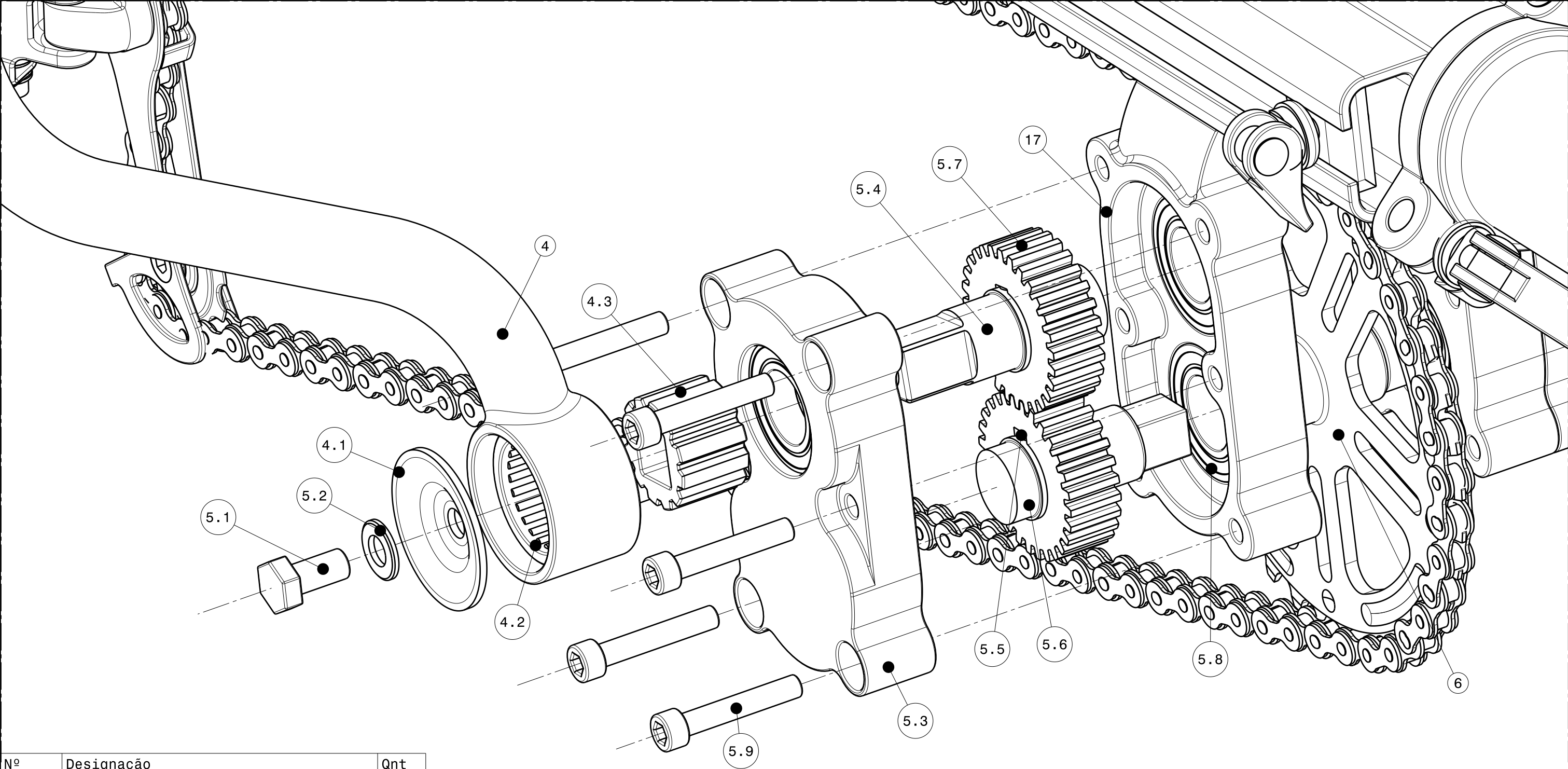
Nº	Designação	Qtd
1	Banco	1
1.1	Carro deslizante	1
1.2	Aperto rápido	1

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual			
Desenho de montagem			
Tamanho	Título		
A4	Posto do utilizador		
Escala	1:3	Álvaro Ferreira	2012
Folha	1/1		



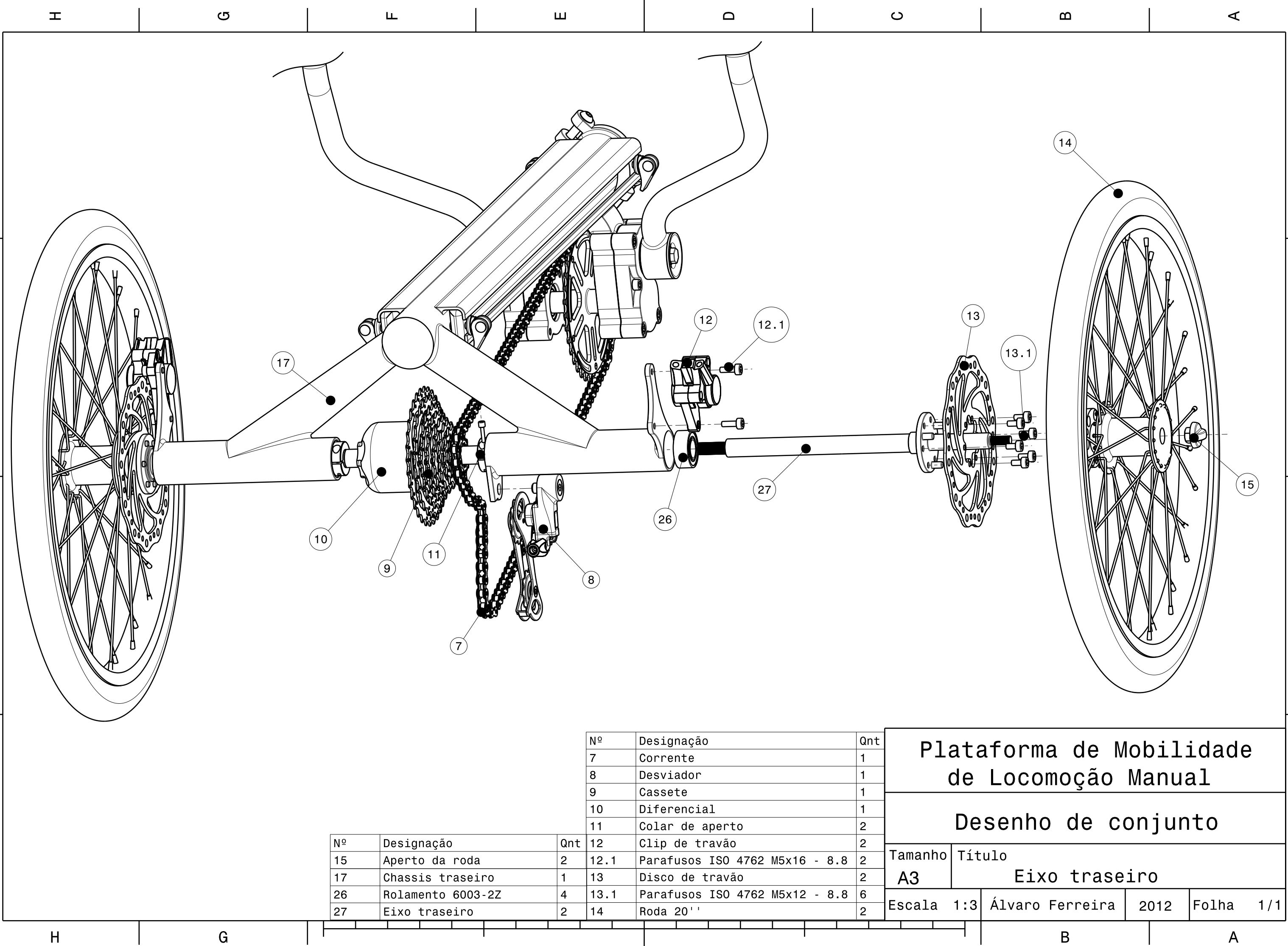
Nº	Designação	Qnt
4	Remo	2
4.1	Tampa do remo	2
4.2	Rolamento HF3020	2
4.3	Veio estriado	2

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de montagem				
Tamanho	Título			
A4	Remo			
Escala	1:3	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1



Nº	Designação	Qnt
4	Remo	2
4.1	Tampa do remo	2
4.2	Rolamento HF3020	2
4.3	Veio estriado	2
5.1	Parafuso ISO 8676 - M8x20 - 8.8	2
5.2	Anilha ISO 7090 - M8	2
5.3	Tampa da caixa inversora	2
5.4	Veio do remo	2
5.5	Chaveta de cunha ISO/R 774 - 6x6x14	4
5.6	Veio pedaleiro	2
5.7	Roda dentada Z=28, m=1.5	4
5.8	Rolamento 61904-2RS	8
5.9	Parafusos ISO 7462 - M5x35 - 8.8	12
6	Prato pedaleiro 36T	1
17	Chassis traseiro	1

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de montagem				
Tamanho	Título			
A3	Caixa inversora			
Escala	1:1	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1



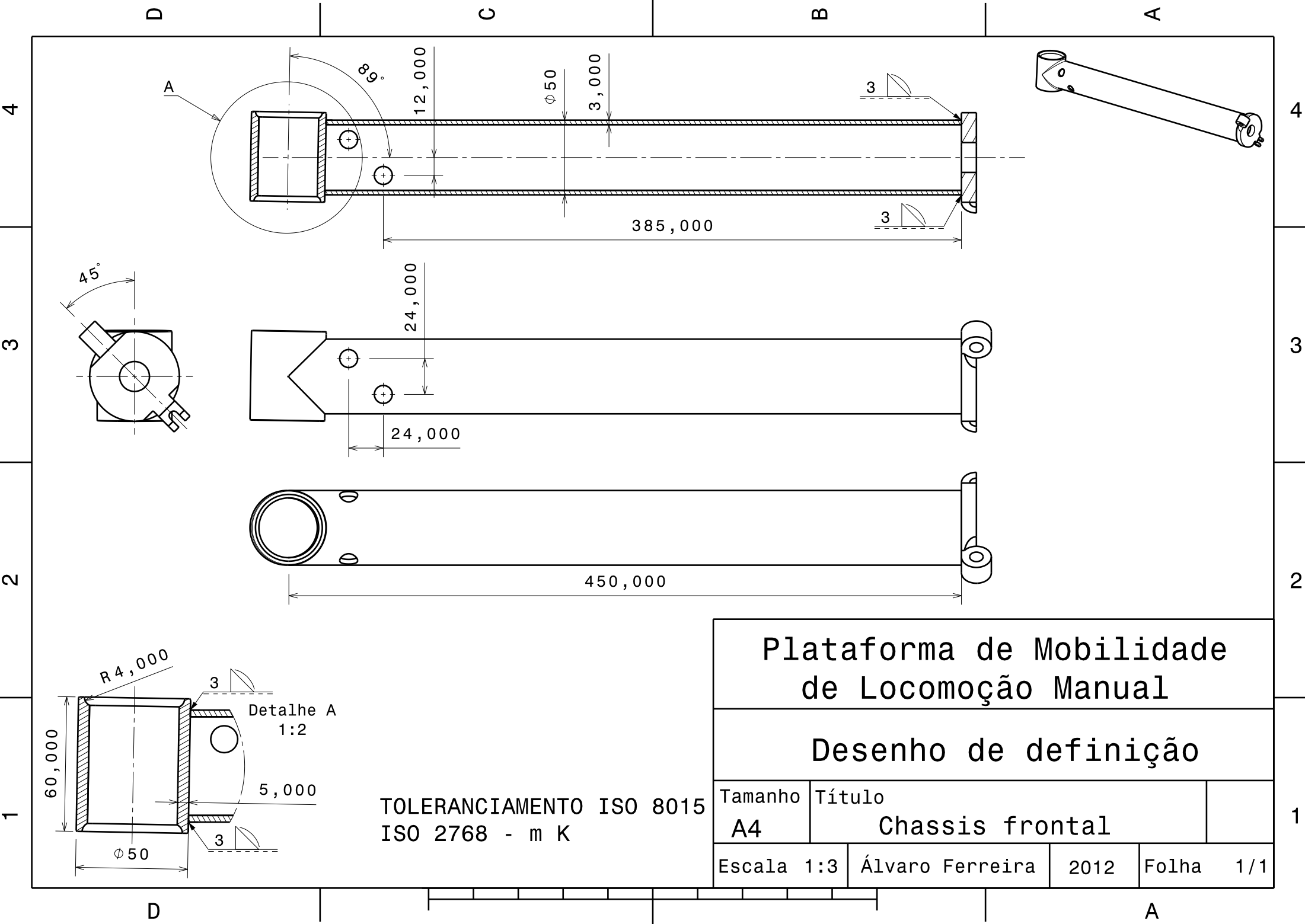
Nº	Designação	Qnt
7	Corrente	1
8	Desviador	1
9	Cassete	1
10	Diferencial	1
11	Colar de aperto	2
12	Clip de travão	2
12.1	Parafusos ISO 4762 M5x16 - 8.8	2
13	Disco de travão	2
13.1	Parafusos ISO 4762 M5x12 - 8.8	6
14	Roda 20''	2

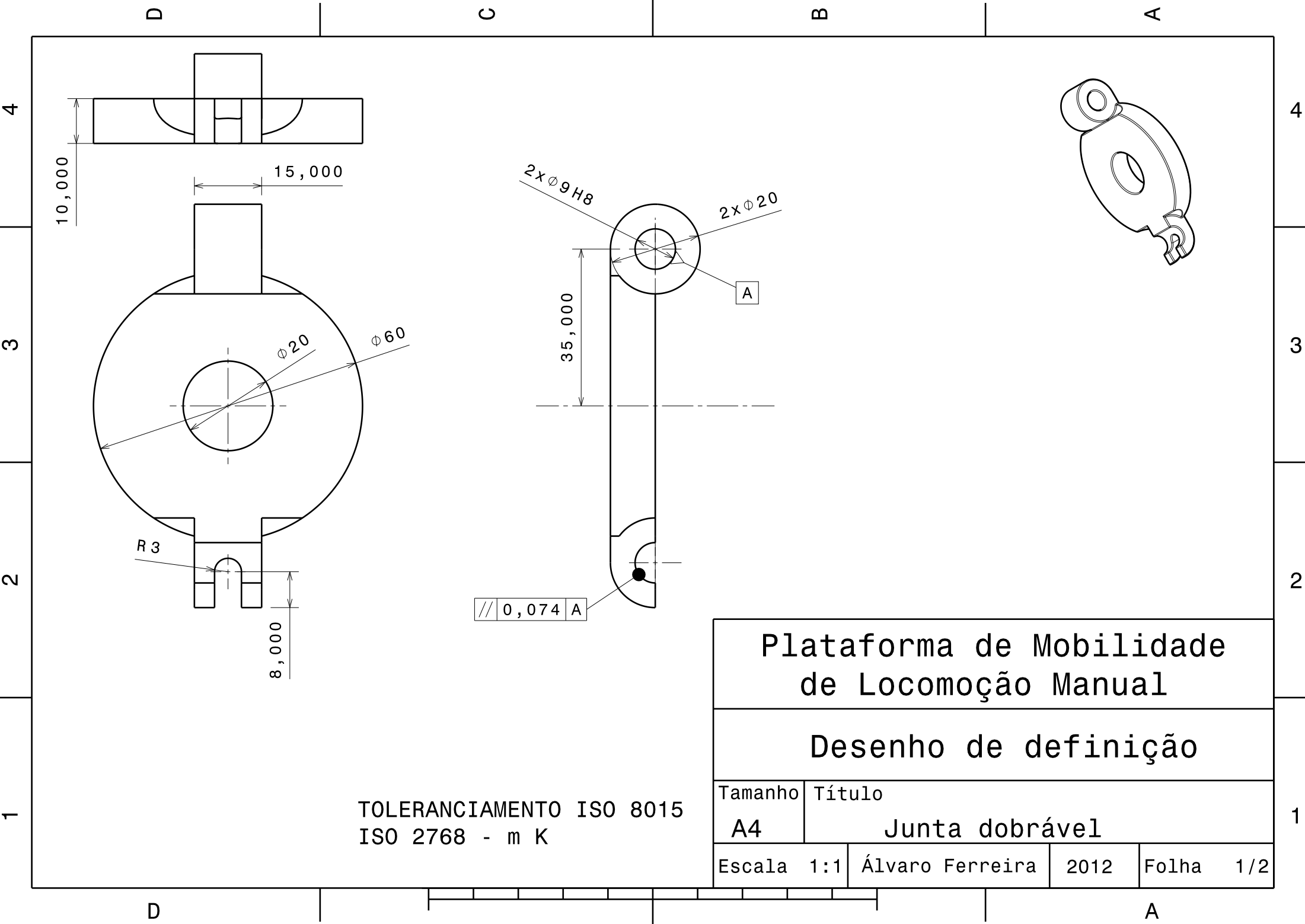
Nº	Designação	Qnt
15	Aperto da roda	2
17	Chassis traseiro	1
26	Rolamento 6003-2Z	4
27	Eixo traseiro	2

Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de conjunto				
Tamanho	Título			
A3	Eixo traseiro			
Escala	1:3	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1

ANEXO VI

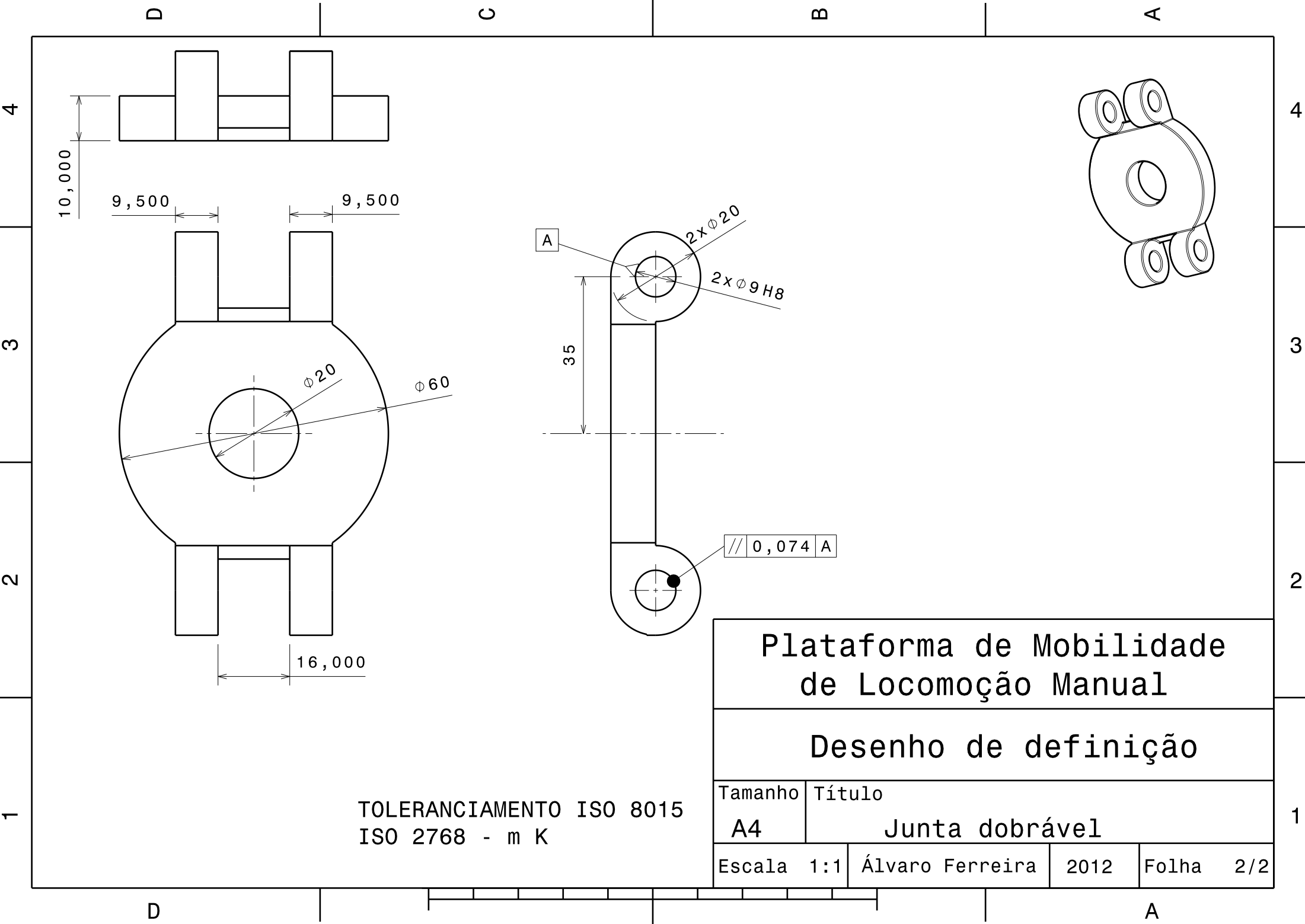
(Desenhos de Definição)

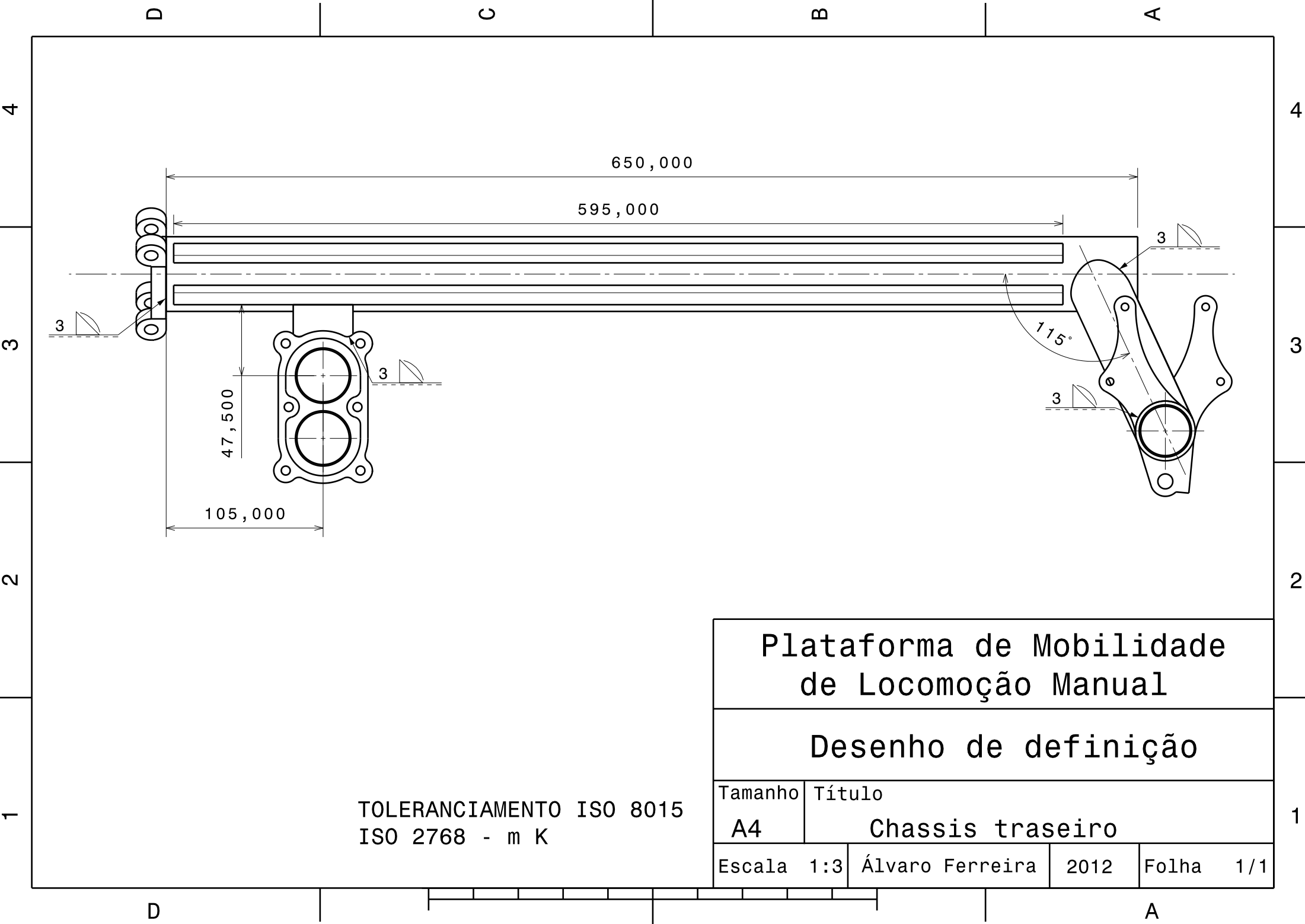




TOLERANCIAMENTO ISO 8015
ISO 2768 - m K

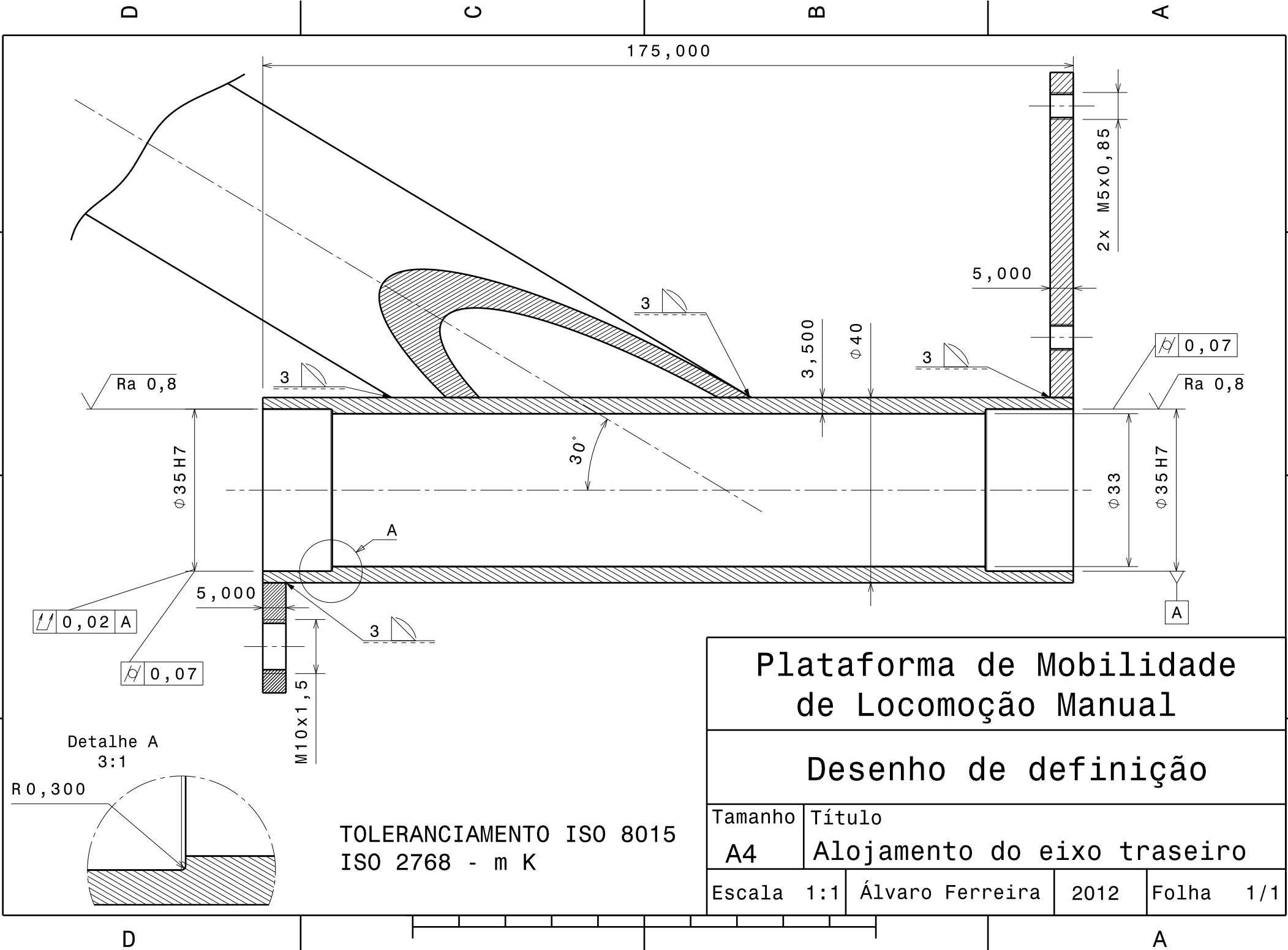
Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de definição				
Tamanho	Título			
A4	Junta dobrável			
Escala	1:1	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/2

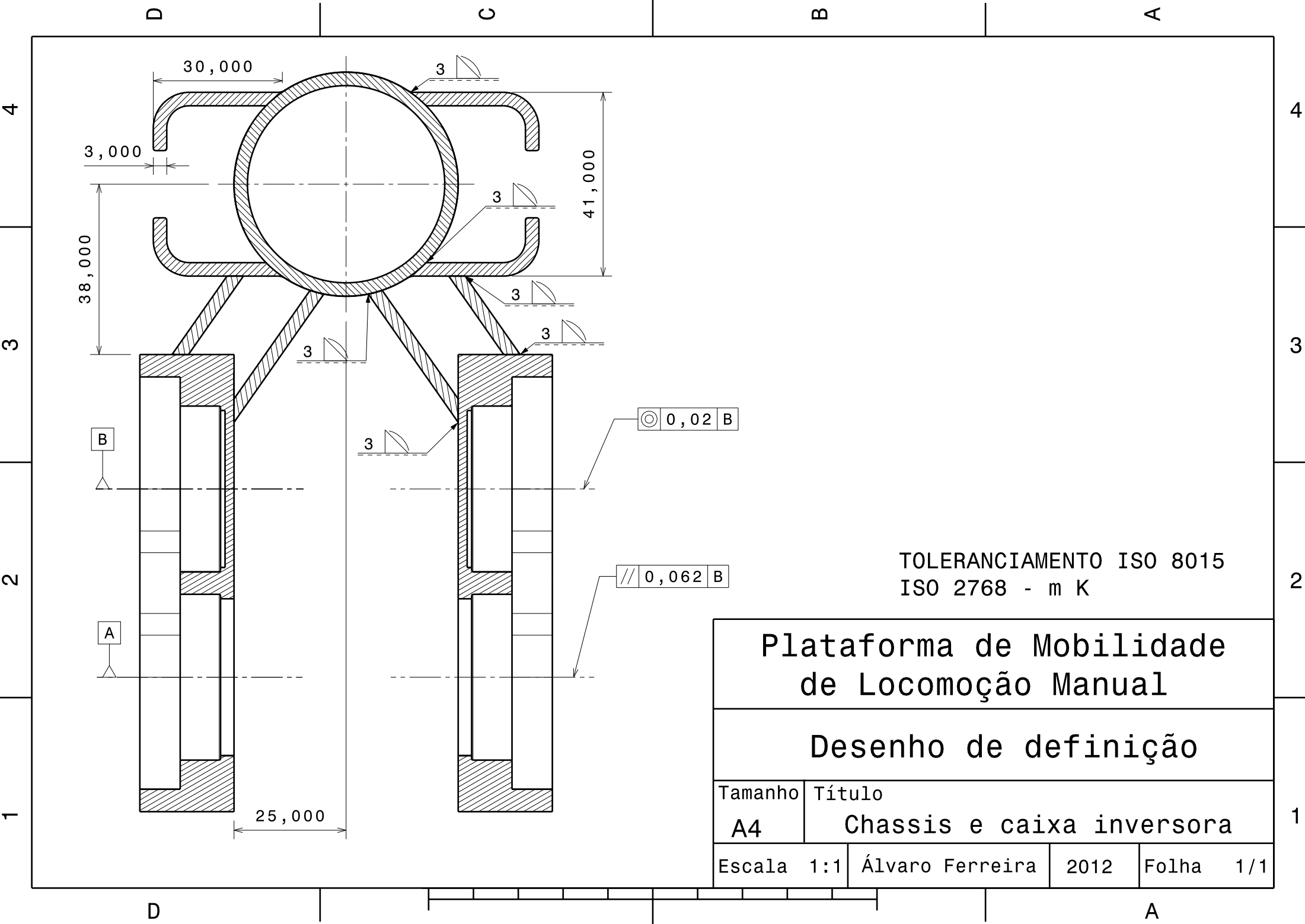




Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual				
Desenho de definição				
Tamanho	Título			
A4	Chassis traseiro			
Escala	1:3	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1

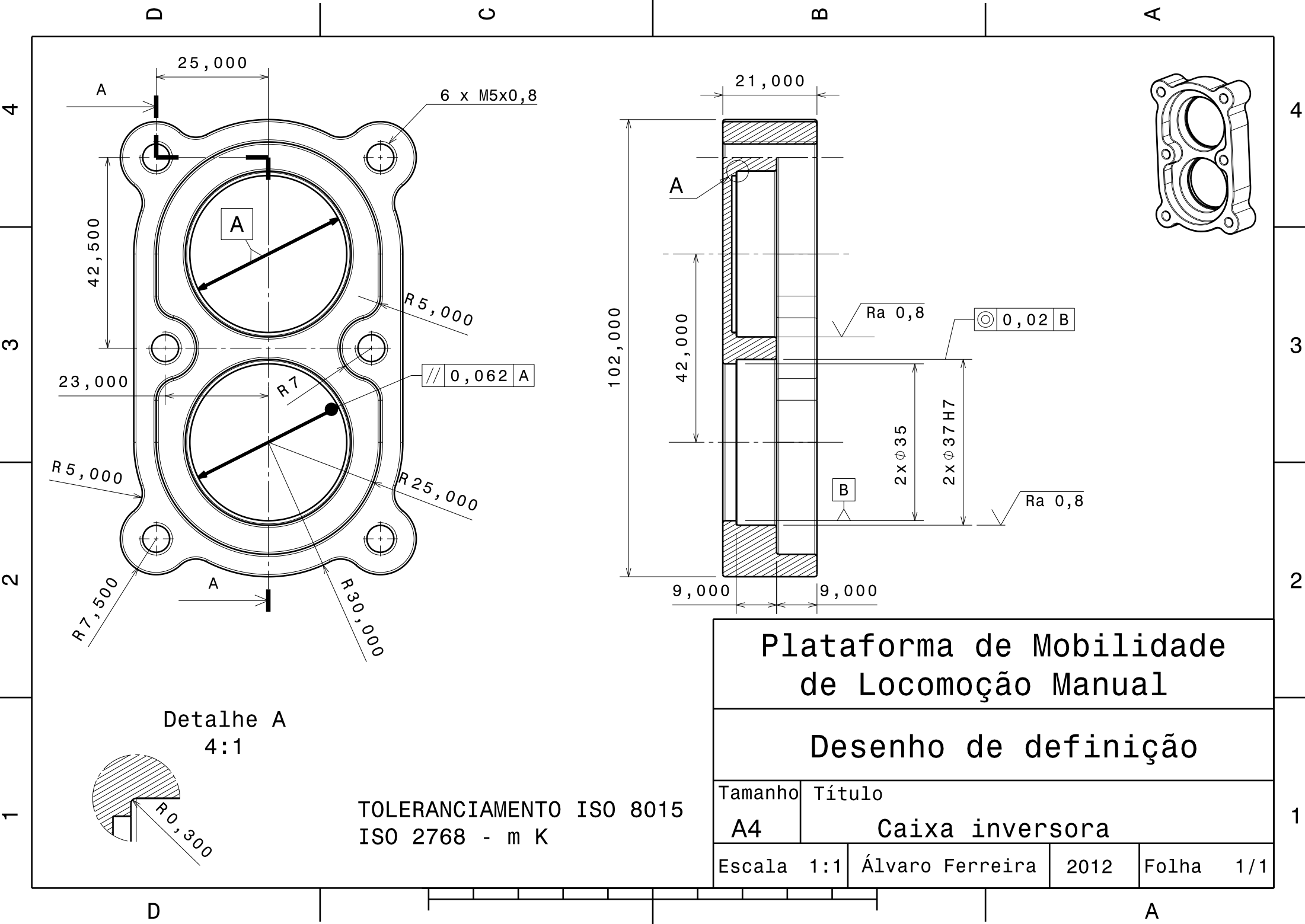
TOLERANCIAMENTO ISO 8015
ISO 2768 - m K





TOLERÂNCIAMENTO ISO 8015
ISO 2768 - m K

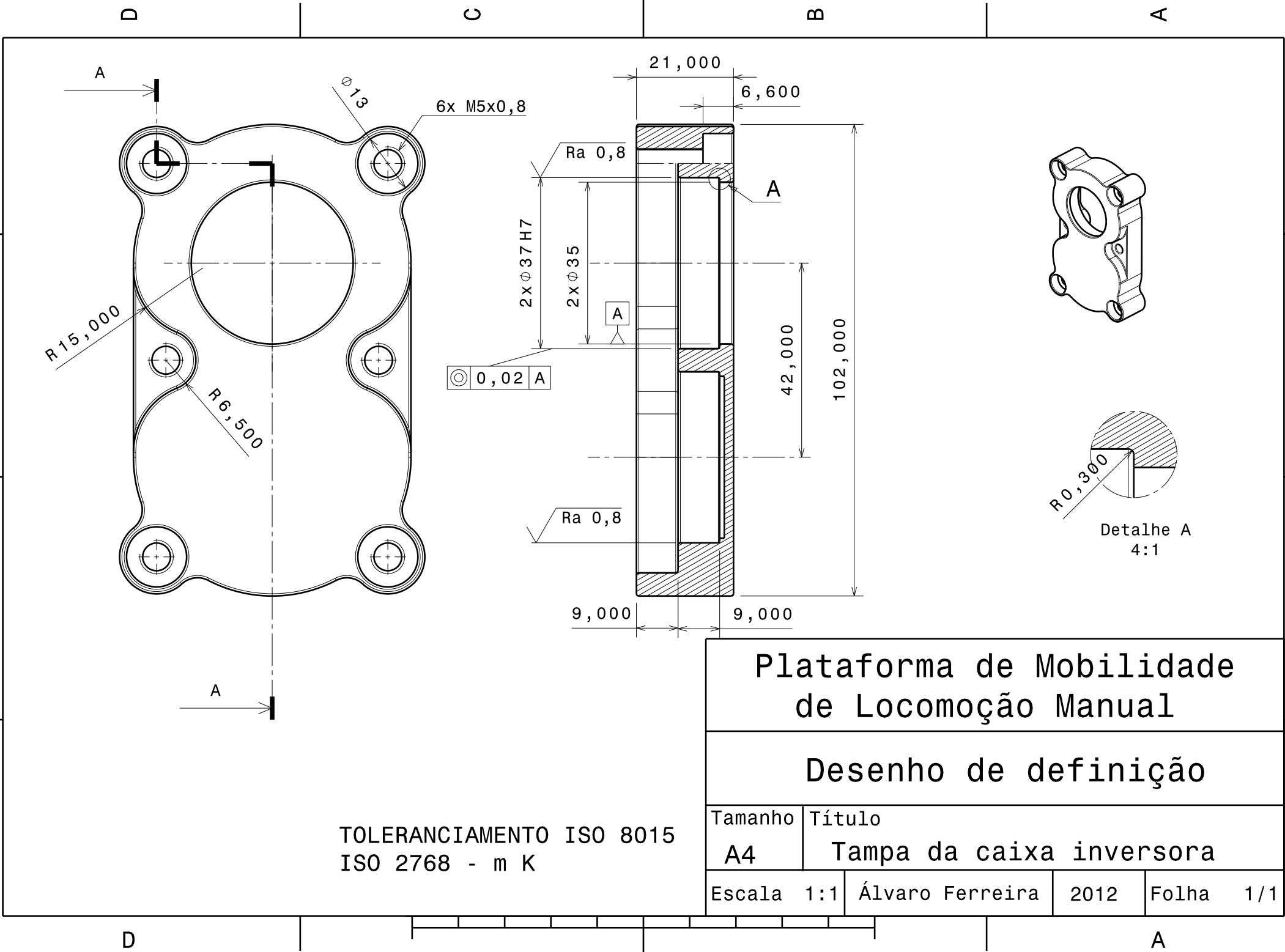
Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual			
Desenho de definição			
Tamanho	Título		
A4	Chassis e caixa inversora		
Escala	1:1	Álvaro Ferreira	Folha 1/1

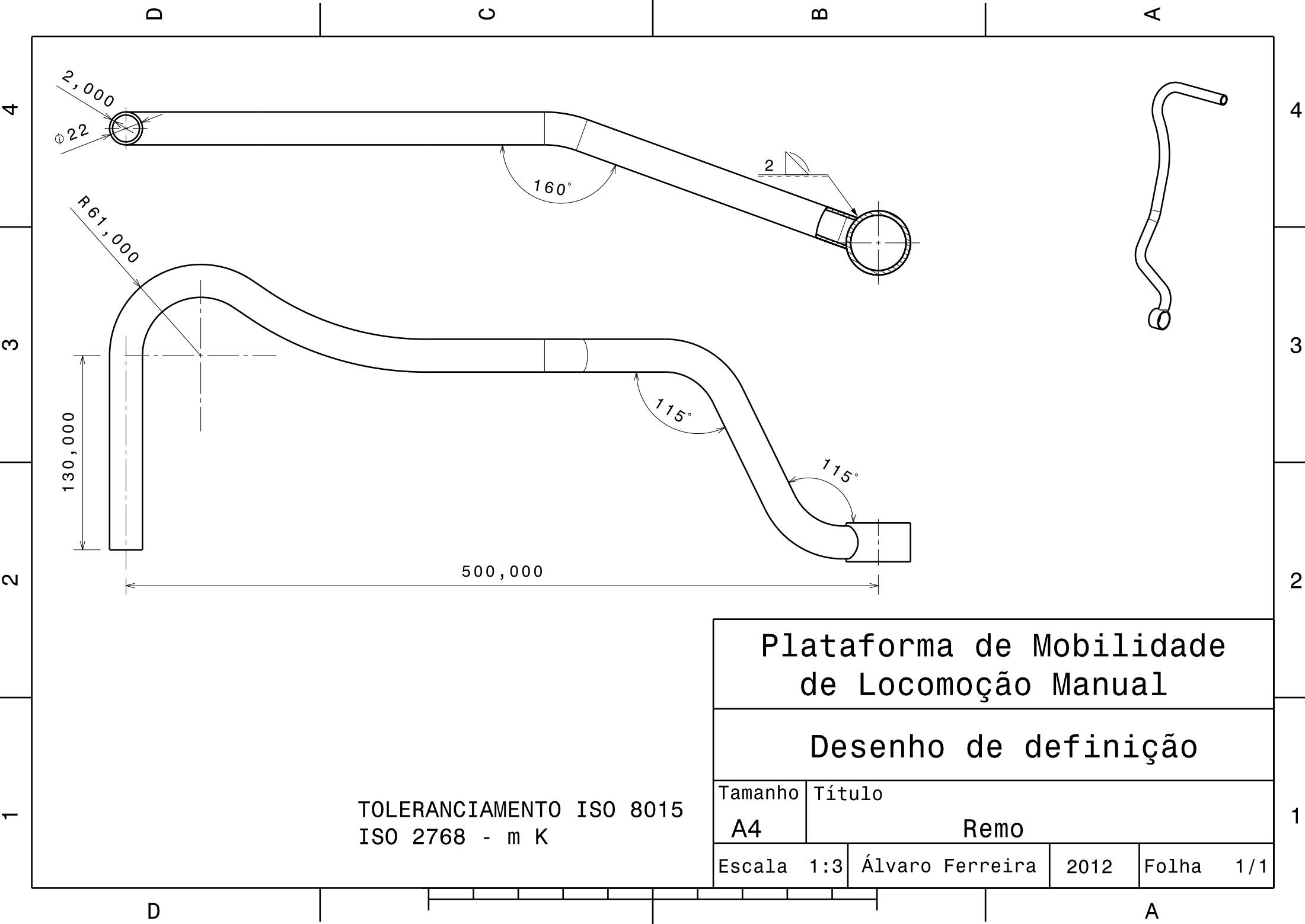


Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual

Desenho de definição

Tamanho	Título			
A4	Caixa inversora			
Escala	1:1	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1



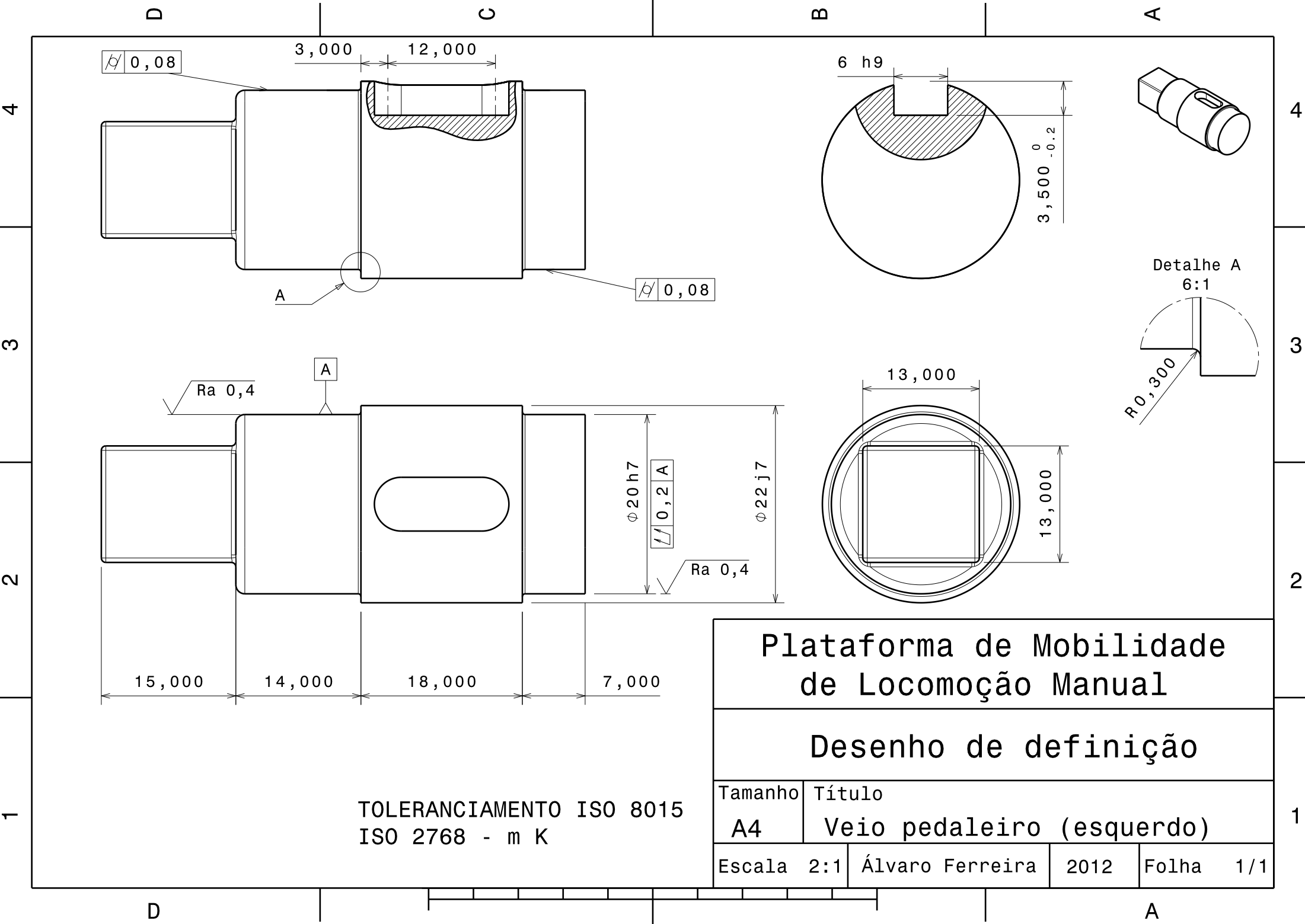


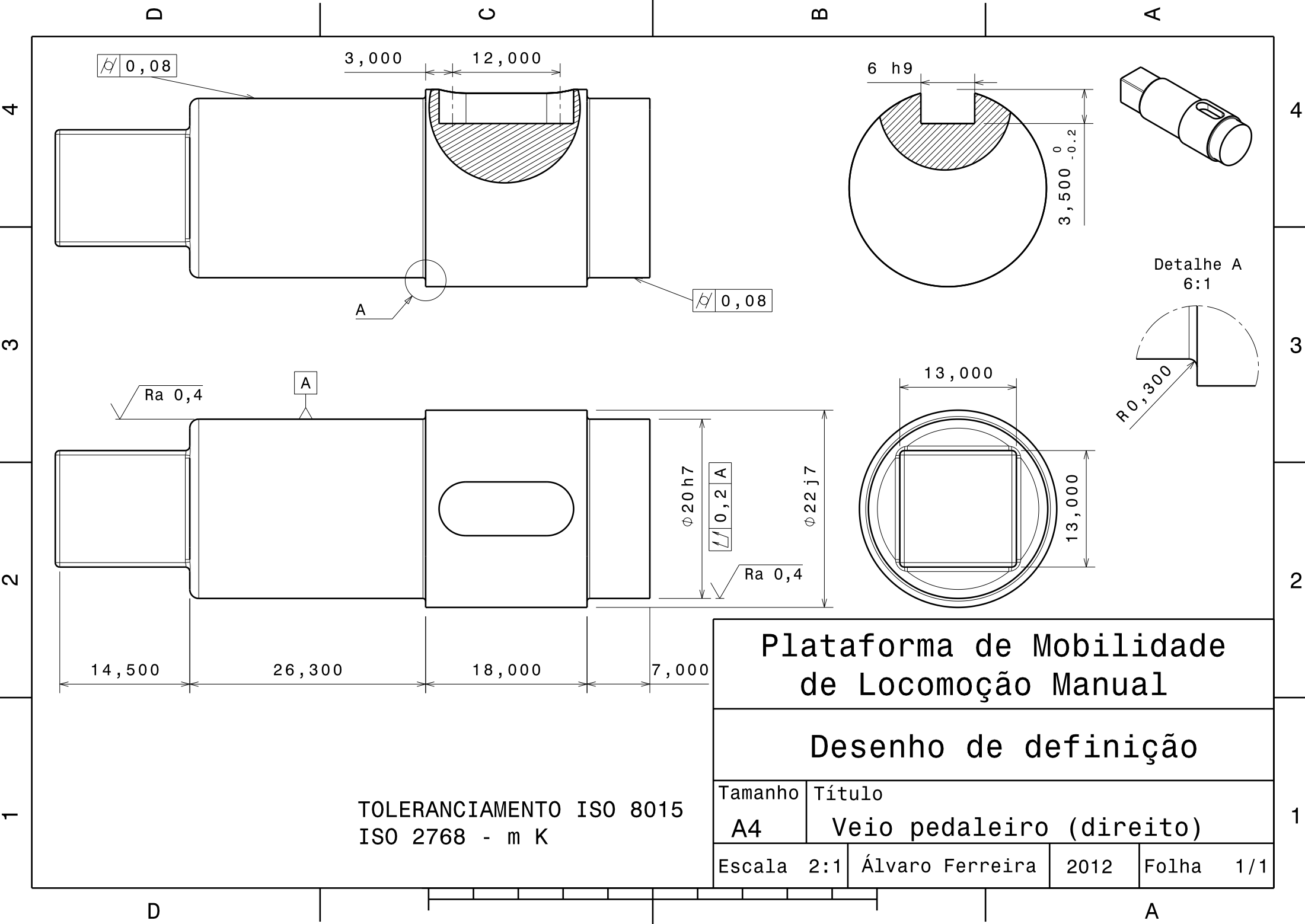
Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual

Desenho de definição

Tamanho	Título			
A4	Remo			
Escala	1:3	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1

TOLERANCIAMENTO ISO 8015
ISO 2768 - m K



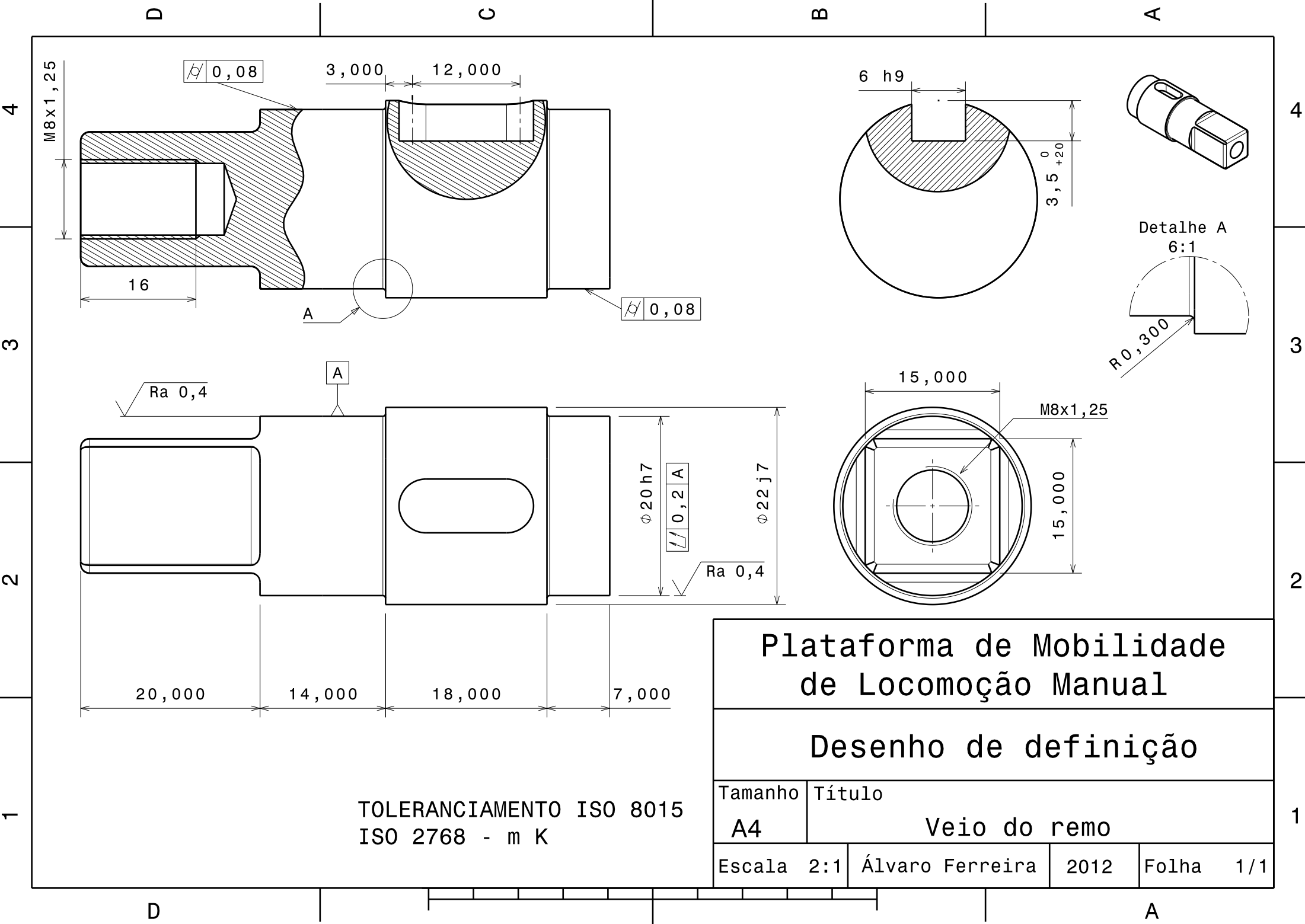


Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual

Desenho de definição

Tamanho	Título			
A4	Veio pedaleiro (direito)			
Escala	2:1	Álvaro Ferreira	2012	Folha 1/1

TOLERANCIAMENTO ISO 8015
ISO 2768 - m K



Plataforma de Mobilidade de Locomoção Manual

Desenho de definição

Tamanho

A4

Título

Veio do remo

Escala

2:1

Álvaro Ferreira

2012

Folha

1/1

TOLERÂNCIAMENTO ISO 8015
ISO 2768 - m K